



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE AERODESLIZADOR CON SISTEMA INTEGRADO DE PROPULSIÓN Y SUSTENTACIÓN PARA LA UTILIZACIÓN EN LUGARES INACCESIBLES A VEHÍCULOS CONVENCIONALES”

**SÁNCHEZ QUILA EDUARDO GABRIEL
BASTIDAS REA WILLIAM ANDRES**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2016

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

2016-05-06

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparada por:

**BASTIDAS REA WILLIAM ANDRES
SÁNCHEZ QUILA EDUARDO GABRIEL**

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE AERODESLIZADOR
CON SISTEMA INTEGRADO DE PROPULSIÓN Y SUSTENTACIÓN PARA
LA UTILIZACIÓN EN LUGARES INACCESIBLES A VEHÍCULOS
CONVENCIONALES”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos Santillán
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Víctor David Bravo Morocho
DIRECTOR

Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo
ASESOR

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: BASTIDAS REA WILLIAM ANDRES

SÁNCHEZ QUILA EDUARDO GABRIEL

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
DE UN PROTOTIPO DE AERODESLIZADOR CON SISTEMA INTEGRADO
DE PROPULSIÓN Y SUSTENTACIÓN PARA LA UTILIZACIÓN EN
LUGARES INACCESIBLES A VEHÍCULOS CONVENCIONALES”

Fecha de Examinación: 2016-11-28

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Pérez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. David Bravo Morocho DIRECTOR(A)			
Ing. Bolívar Cuaical Angulo ASESOR(A)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El (La) Presidente (a) del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. José Pérez
PRESIDENTE (A) DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Eduardo Gabriel Sánchez Quila

William Andres Bastidas Rea

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Eduardo Gabriel Sánchez Quila y William Andres Bastidas Rea, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Eduardo Gabriel Sánchez Quila
Cédula de Identidad: 1804972162

William Andres Bastidas Rea
Cédula de Identidad: 0604764100

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se la dedico a mis padres por haber sido un pilar fundamental para seguir adelante y no desmayar en las adversidades, por brindarme su apoyo consejos y comprensión. A mis hermanos por su apoyo y a mi familia en general quienes por ellos soy quien soy.

William Bastidas Rea

Este trabajo de titulación le dedico a Dios por guiarme en su camino y darme las fuerzas para continuar con mis objetivos. A mis padres y hermanos por apoyarme incondicionalmente y ser la inspiración para cumplir mis metas.

Eduardo Sánchez Quila

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por el talento y la inteligencia que me dio para llevar a cabo esta carrera, a mis padres, por su esfuerzo tengo la dicha de estar donde estoy.

A mi familia y amigos por sus consejos y apoyo que me brindaron para mantenerme en pie, a mi director Ing. David Bravo y asesor Ing. Bolívar Cuaical por brindar sus conocimientos que han sido un aporte para dar un salto agigantado para cumplir con este proyecto.

Eduardo Sánchez Quila

Agradezco a mis padres por apoyarme incondicionalmente ya que muchos de mis logros se los debo a ellos incluyendo este, gracias a ellos soy la persona que soy en la actualidad al haberme formado e inculcado valores para ser una persona de bien.

A mis hermanos y amigos, en especial a mi hermana Nancy y mi cuñado Juan Carlos, ya que todos ellos han estado siempre presentes brindándome su apoyo, consejos y de esta manera ayudándome a cumplir mis metas

Así como también a la Escuela superior Politécnica de Chimborazo en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, a toda su planta docente, al tutor y asesor por brindarnos los conocimientos necesarios y darnos la oportunidad de obtener una profesión.

William Bastidas Rea

CONTENIDO

	pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	2
1.2 Justificación	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 <i>Objetivo general.</i>	3
1.3.2 <i>Objetivos específicos.</i>	4
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Marco conceptual.....	5
2.1.1 <i>Aerodeslizador.</i>	5
2.1.2 <i>Sistema de suspensión.</i>	5
2.1.3 <i>Ventilador de suspensión</i>	6
2.1.4 <i>Sistema de propulsión.</i>	6
2.1.5 <i>Ventilador de propulsión.</i>	7
2.1.6 <i>Estructura.</i>	7
2.1.7 <i>Faldas.</i>	7
2.1.8 <i>Sistema de dirección.</i>	8
2.1.9 <i>Sistema motriz.</i>	8
2.1.10 <i>Tipos de aerodeslizadores y aplicaciones.</i>	8
2.1.11 <i>Equilibrio.</i>	11
2.1.12 <i>Estabilidad.</i>	11
2.1.13 <i>Suspensión del aerodeslizador</i>	12
3. DISEÑO DEL AERODESLIZADOR	
3.1 Cálculo de la suspensión	24
3.1.1 <i>Presión.</i>	24
3.1.2 <i>Caudal.</i>	25
3.1.3 <i>Potencia mínima requerida.</i>	27
3.2 Diseño del sistema de propulsión	28

3.2.1	<i>Cálculo de parámetros de diseño y selección de los componentes del sistema de propulsión</i>	28
3.3	Selección de la hélice	30
3.4	Selección del motor	30
3.5	Diseño de la estructura del aerodeslizador	31
3.5.1	<i>Selección del esquema principal.</i>	31
3.5.2	<i>Selección de alternativa óptima.</i>	35
3.6	Modelado y simulación en software del prototipo.....	35
3.6.1	<i>Modelado de la estructura de la suspensión y propulsión.</i>	35
3.6.2	<i>Modelado del ducto de aire.</i>	36
3.6.3	<i>Modelado de la hélice.</i>	37
3.6.4	<i>Modelado del motor.</i>	37
3.6.5	<i>Modelado del asiento.</i>	38
3.6.6	<i>Modelado del mecanismo de aceleración.</i>	39
3.6.7	<i>Modelado del faldón.</i>	39
3.6.8	<i>Análisis y selección del material para la estructura del prototipo.</i>	39
4.	CONSTRUCCIÓN	
4.1	Proceso.....	45
4.2	Selección de materiales.....	45
4.3	Análisis y ejecución de tiempos.....	46
4.3.1	<i>Tiempo de construcción</i>	46
4.3.2	<i>Tiempo de ensamblaje.</i>	47
4.4	Máquinas y herramientas utilizadas.....	48
4.5	Narrativa de construcción	49
4.5.1	<i>Importación de las hélices.</i>	49
4.5.2	<i>Adquisición de los motores.</i>	50
4.5.3	<i>Construcción de la estructura.</i>	50
4.5.4	<i>Elaboración de la base de motor de combustión.</i>	55
4.5.5	<i>Construcción del eje de separación de transmisión motor – hélice</i>	57
4.5.6	<i>Construcción del ducto</i>	59
4.5.7	<i>Construcción de la falda</i>	61
4.5.8	<i>Ubicación del asiento</i>	62
4.5.9	<i>Construcción de la dirección</i>	63

4.5.10	<i>Construcción de los flotadores</i>	64
4.5.11	<i>Proceso de pintura</i>	65

5. COSTOS DEL PROTOTIPO

5.1	Costos de fabricación	68
5.1.1	<i>Costos directos:</i>	68
5.1.2	<i>Costos indirectos.....</i>	71
5.2	Costos totales:	71

6. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

6.1	Prueba de encendido de los motores	72
6.2	Prueba de sustentación	73
6.3	Prueba de desplazamiento.....	74

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1	CONCLUSIONES	75
7.2	RECOMENDACIONES.....	76

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

	pág.
1 Estimación de pesos del aerodeslizador	24
2 Propiedades mecánicas del acero ASTM A500	40
3 Materiales	45
4 Análisis y ejecución de tiempos	46
5 Proceso de ensamblaje.....	48
6 Maquinaria y herramientas	48
7 Herramientas y accesorios empleados en la construcción.....	49
8 Costo de materiales	68
9 Costos de mano de obra.....	69
10 Costos de herramientas.....	70
11 Costos de equipos por hora	70
12 Total de costos directos	70
13 Costos indirectos	71
14 Costos totales.....	71

LISTA DE FIGURAS

	pág.
1 Aerodeslizador SR-N6 que muestra el mecanismo de cojín de aire.....	5
2 Diagrama de funcionamiento en la que muestra la suspensión y propulsión del vehículo	6
3 Alimentación de aire en una falda tipo bolsa	8
4 Embarcaciones marinas de alta velocidad.....	9
5 Diagrama de un aerodeslizador ACV.....	10
6 Diagrama de un aerodeslizador SES	11
7 Diagrama del fenómeno del colchón de aire	12
8 Diagrama de cuerpo libre de un aerodeslizador	14
9 Esquema del área de salida del flujo de aire	16
10 Área de salida del caudal del aire de suspensión.....	17
11 Distribución de presiones atraves del sistema de suspensión.....	19
12 División del flujo de aire de empuje y de levantamiento	22
13 Variación del consumo de potencia con respecto a la altura del colchón de aire .	27
14 Geometría frontal del aerodeslizador	28
15 Esquema de funcionamiento de un aerodeslizador con sistema de suspensión y propulsión separado con unidades de potencia independientes	32
16 Esquema de funcionamiento de un aerodeslizador con sistema de suspensión y propulsión separado con una sola unidad de potencia	32
17 Esquema de funcionamiento de un aerodeslizador con sistema de suspensión y propulsión integrado.....	33
18 Aerodeslizador de forma circular	34
19 Aerodeslizador de forma rectangular UH-13 PT	34
20 Aerodeslizador triangular UH-13P.....	35
21 Modelado de la estructura	36
22 Modelado del ducto	36
23 Modelado de la hélice.....	37
24 Modelado del motor	38
25 Modelado del asiento.....	38
26 Modelado del mecanismo de aceleración.....	39

27	Modelado del faldón.....	39
28	Importación del modelo geométrico.....	40
29	Designación de propiedades del acero ASTM A500	41
30	Aplicación de cargas	42
31	Fijación de elementos estructurales.....	43
32	Esfuerzo ultimo permisible del Acero ASTM A500.....	43
33	Deformación total del prototipo	44
34	Hélice importada	50
35	Motores de combustión interna	50
36	Doblado del tubo principal	51
37	Doblado de tubo para las entradas de aire	52
38	Cortado de tubo para la estructura.....	52
39	Medición del diámetro de las entradas de aire para cortar el tubo.	53
40	Unión de extremos de la estructura principal	54
41	Despliegue luego de colocar las bisagras	54
42	Base del motor.....	55
43	Armazón Principal que soporta el motor.....	56
44	Esmerilado de la base del motor.....	56
45	Posicionamiento del eje y herramientas de corte	57
46	Proceso de desbaste	57
47	Taladrado interno y chavetero	58
48	Taladrado y roscado para el prisionero	58
49	Construcción del ducto	59
50	Estructura del ducto.....	60
51	Tubo transversal para el faldón	60
52	Corte del material del faldón	61
53	Cocido del faldón	61
54	Tubos transversales para la base del asiento	62
55	Perforación para paso de tornillos del asiento.....	62
56	Ubicación de los cables de aceleración	63
57	Mecanismo de aceleración	64
58	Sellado de las fundas	64
59	Válvulas de flotadores	65
60	Broches del flotador	65

61	Lijado de superficies	66
62	Pintado del ducto	66
63	Pintado de la estructura	67
64	Construcción final del aerodeslizador	67
65	Encendido del motor	73
66	Prueba de sustentación del aerodeslizador	74
67	Desplazamiento del aerodeslizador	74

SIMBOLOGÍA

p_c	Presión de colchón de aire.	N/m^2
ν	Relación de poisson	Adimensional
F_y	Límite elástico	(kg/cm^2)
F_u	Esfuerzo último	(kg/cm^2)
P	Presión absoluta del sistema de suspensión.	N/m^2
F_s	Fuerza de suspensión.	N
A_i	Área inferior del vehículo.	m^2
p_{rv}	Presión real del ventilador.	N/m^2
m_v	Peso total del vehículo.	N
g	Aceleración de la gravedad	m/s^2
F_{seg}	Factor de seguridad en el peso del vehículo	Adimensional
η_A	Factor de corrección del área inferior	Adimensional
Q_s	Caudal de aire generado por el sistema de suspensión.	m^3/s
A_s	Área de salida del flujo de aire.	m^2
V_s	Velocidad de salida del flujo de aire.	m/s
h	Altura del colchón de aire.	m
p_{atm}	Presión atmosférica.	N/m^2
ρ	Densidad del fluido.	kg/m^3
Z_f	Altura geodésica final del fluido.	M
Z_i	Altura geodésica inicial del fluido.	m
V_i	Velocidad inicial del fluido.	m/s
D	Diámetro de la base del vehículo.	M
η_s	Eficiencia del sistema de suspensión.	Adimensional
p_{rv}	Presión real del ventilador.	N/m^2
P_s	Potencia de suspensión.	HP
F_e	Fuerza de empuje.	N
A_t	Área transversal del vehículo.	m^2
V_v	Velocidad de desplazamiento.	m/s
C_D	Coeficiente de arrastre del vehículo.	Adimensional
P_p	Potencia de propulsión necesaria.	HP
η_H	Eficiencia de la hélice.	Adimensional

η_T	Eficiencia de transmisión entre el motor y hélice.	Adimensional
----------	--	--------------

LISTA DE ABREVIACIONES

ACV	Air Cushion Vehicle conocido como vehículo de colchón de aire.
SES	Surface Effect Ship conocido como aerodeslizador de flanco.

LISTA DE ANEXOS

A Manual del motor

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo diseñar y construir un prototipo de aerodeslizador con sistema integrado de propulsión y sustentación para la utilización del mismo en distintas superficies como agua, tierra, nieve, fango, arena y otras las cuales sean lo suficientemente regulares, para este proyecto se realizó un diseño previo en un software CAD el cual permitió tener una idea clara del prototipo que se construyó. Una vez digitalizado se procedió a realizar una simulación de cargas y validación de datos en la cual se aplicó la fuerza que ejercen los dos motores y el piloto del prototipo, determinando la deformación total, esfuerzo máximo y factor de seguridad. El material idóneo para la estructura la cual va a soportar todas las cargas y esfuerzos es un acero ASTM A500 dando una utilización óptima. Para el diseño del prototipo se tomó en cuenta distintos parámetros como las dimensiones, caudal, presión de aire necesario, potencia y velocidad angular requerida en los motores de propulsión y sustentación del prototipo, así como la características propias de la hélice seleccionada, como son ángulo de ataque, diámetro, número de aspas, flujo másico de aire y presión. Este tipo de vehículo tiene múltiples aplicaciones a nivel mundial debido a que puede superar obstáculos como troncos de árboles, rocas, desechos, dependiendo de la altura de su colchón de aire, ya que no se encuentra en contacto directo con la superficie en la cual se desplaza, lo cual permite a este tipo de vehículos desplazarse por cualquier superficie que no sea demasiado irregular y desplazarse sin ningún inconveniente de una superficie a otra. En Ecuador el conocimiento, fabricación y aplicación de este tipo de vehículos es prácticamente nulo, por lo que se recomienda incentivar este tipo de investigaciones.

PALABRAS CLAVES: < DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD)>, <ALTURA DE SUSTENTACIÓN>, < ESFUERZO ÚLTIMO PERMISIBLE>, < FACTOR DE SEGURIDAD>, < SUSTENTACIÓN DEL AERODESLIZADOR>, < PROPULSIÓN DEL AERODESLIZADOR>, < FLUJO DE AIRE>, <COLCHÓN DE AIRE>.

ABSTRACT

The present graduate work aims to design and to construct a prototype of hovercraft with an integrated system of propulsion and sustentation, for the use of it in different surfaces like water, earth, snow, mud, sand and others that are sufficiently regular. For this project, a previous design was made in CAD software, which allowed having a clear idea of the prototype that was constructed. Once digitized, the researchers performed a load simulation and data validation in which the force exerted by the two engines and the pilot of the prototype were applied, it was determined the total deformation, maximum effort and safety factor. The ideal material for the structure, which will withstand all loads and stresses, is ASTM A500 steel for giving optimum use. For the design of the prototype, different parameters such as the dimensions, tails required air pressure, power and angular velocity required in the propulsion and propelling engines of the prototype were taken into account, as well as the characteristics of the selected propeller, such as angle diameter, number of blades, mass air flow and pressure. this type of vehicle has multiple applications worldwide, because it can overcome obstacles such as tree trunks, rocks, debris depending on the height of its air mattress, since it is not in direct contact with the surface on which it is, it allows this type of vehicle to move on any surface that is not too irregular and to move without any inconvenience from one surface to another. In Ecuador the knowledge, manufacture and applications of this tape of vehicles is practically nil, so it is recommended to encourage this type of research.

KEYWORDS: <COMPUTER AIDED DESIGN (CAD)>, < LIFT HEIGHT>, <LAST ALLOWABLE STRESS>, <SAFETY FACTOR>, <HOVERCRAFT LIFT>, <HOVERCRAFT PROPULSION>, <AIRFLOW >, <MATTRESS AIR>.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Los aerodeslizadores también conocidos como vehículos de colchón de aire o ACV (por sus siglas en inglés Air Cushion Vehicle) son capaces de suspenderse gracias al colchón de aire generado por su sistema de suspensión el cual se encuentra interpuesto entre el vehículo y la superficie líquida o sólida por la cual se desplaza. Su principal cualidad es su capacidad de moverse sobre cualquier superficie lo suficientemente regular como hielo, nieve, llanuras, desiertos y agua; sin estar en contacto con dicha superficie.

Los medios de transporte comúnmente utilizados como autos, aeroplanos, así como barcos o botes pequeños por mencionar algunos, cumplen su función en el medio donde se desplazan y para el cual fueron diseñados (tierra, aire y agua respectivamente), sin embargo los aerodeslizadores son capaces de operar de tal manera que utilizan la combinación de estos tres medios para desplazarse por lo que su característica principal es la de poder circular por cualquier tipo de superficie y poder pasar de una a otra de manera continua.

También se los puede describir como aquellos vehículos que suspendiéndose a una corta distancia de cualquier tipo de superficie por medio de una capa de aire a presión mantenida dentro de los límites inferiores y superficiales del mismo, son capaces de desplazarse en cualquier dirección a voluntad del conductor

No se los puede considerar aeronaves ya que los aerodeslizadores dependen netamente de la reacción que genera el aire con la superficie en la que este se desplaza, pero tampoco se los puede considerar vehículos terrestres ya que no circulan manteniendo un contacto directo con la superficie terrestre o terreno, ni son acuáticos ya que si bien, pueden mantenerse a flote en el agua no están destinados exclusivamente para un uso marítimo. Por lo que se puede decir que un aerodeslizador en su operación se desprende de la superficie en la cual va a transitar pero al mismo tiempo depende directamente de ella.

Actualmente, los aerodeslizadores son usados en todo el mundo, tanto para usos civiles

como militares así como vehículos de auxilio e incluso como vehículos de desembarque de tropas militares. Es necesario mencionar que estos vehículos son utilizados en varios países como medios de transporte sobre lagos, ríos, pantanos y mares. También son usados como vehículos recreativos para la playa y el desierto, con los cuales se organizan carreras y competencias, especialmente en Europa.

1.1 Antecedentes

El diseño del primer vehículo con un colchón de aire lo realizó el diseñador Sueco Emmanuel Sweden Borg en 1716, este modelo consistía en adaptar a un bote de remos una cabina en el centro, sin embargo nunca fue construido porque la fuente de energía de aire no era suficiente.

Se considera que los aerodeslizadores fueron inventados por los británicos debido a que el que patentó su invención fue un británico. Pero lo cierto es que en varios países del mundo se realizaron investigaciones de vehículos a base de colchón de aire, consiguiendo investigaciones muy destacables concernientes al desarrollo de los aerodeslizadores.

Gran Bretaña conjuntamente con China, fueron los países pioneros en el desarrollo de los vehículos de colchón de aire, esto en gran medida se debió a la investigación desarrollada por Sir Cockerell. Una vez que Sir Cockerell logró demostrar la factibilidad de suspender un vehículo a través de un colchón de aire con sus experimentos.

Posteriormente la Unión Soviética y Estados Unidos fueron los países que desarrollaron este tipo de tecnología, en la Unión Soviética estos vehículos fueron utilizados en su mayoría para el uso militar y para exploraciones petroleras, mientras que en Estados Unidos su uso fue casi exclusivamente militar. Estos países conjuntamente con Gran Bretaña y China son los pioneros en el desarrollo de los Aerodeslizadores y son los que más modelos han producido desde su invención. Otros países tales como Francia y Japón también han desarrollado este tipo de tecnología pero su aporte no es tan significativo como el de los países antes mencionados.

1.2 Justificación

En Ecuador los aerodeslizadores no son utilizados en ninguna área específica, y sabiendo que tienen una infinidad de aplicaciones, al introducirlos en nuestro medio se tiene la seguridad de que este tipo de vehículos pueden convertirse en grandes aliados de las dependencias Gubernamentales del País como Guardias Costeras, Incendios Forestales, Geología, así como también de personas que necesiten acceder a lugares de difícil acceso y en épocas específicas, por ejemplo cuando se producen inundaciones en la región costa del país en las cuales deben movilizarse por tierra, agua o cualquier otra superficie, por nombrar a algunos casos.

Otro uso muy importante es el militar, debido a las importantes características que estos poseen, actualmente los efectos del cambio climático por el calentamiento global es uno de los factores que está afectando a nivel mundial, y en nuestro país se manifiesta mayormente en las zonas Costeras con devastadoras inundaciones debido a las lluvias intensas, afectando el traslado de un lugar a otro de los habitantes, con el uso y desarrollo de este tipo de vehículo por una de sus cualidades que es la adaptabilidad al agua, estos pueden transitar por estas superficies satisfaciendo en todo momento esta necesidad. En Ecuador la fabricación de estos vehículos, la producción de elementos constitutivos del mismo, así como los conocimientos acerca de su funcionamiento y existencia son prácticamente nulos, por lo que no son usados ni desarrollados, razón por la cual se ha propuesto desarrollar este proyecto, con el fin de contribuir e incentivar a la investigación de este tipo de vehículos y generar popularidad en la utilización del mismo.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Diseñar y construir un prototipo de aerodeslizador con sistema integrado de propulsión y sustentación para la utilización en lugares inaccesibles a vehículos convencionales

1.3.2 *Objetivos específicos:*

- Identificar y conocer los tipos de aerodeslizadores así como su principio de funcionamiento y aplicaciones.
- Diseñar y simular el prototipo mediante el uso de un software CAD.
- Seleccionar los materiales para la construcción del prototipo tomando en cuenta sus propiedades y accesibilidad.
- Construir el prototipo con los materiales seleccionados.
- Realizar pruebas de funcionamiento del prototipo.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Marco conceptual

2.1.1 Aerodeslizador. Un aerodeslizador, también designado con el término en inglés hovercraft, es un vehículo que se sustenta al lanzar un chorro de aire contra una superficie que se encuentra debajo de él: esto genera un cojín de aire, que le permite, moverse sobre cualquier superficie lo suficientemente regular sin estar propiamente en contacto con ella. El aerodeslizador es un medio de transporte anfibia con lo cual se entiende que normalmente se utiliza sobre tierra, agua, fango, arena, nieve, hielo, etc., también puede transitar sobre cualquier obstáculo de superficie como, troncos de árboles, rocas, desechos en general, etc., según la altura del cojín.

Técnicamente, un aerodeslizador se clasifica como un aeronave, puesto que se sostiene y se desplaza completamente en el aire; en tal ámbito, pertenece a los aerodinos sustentados por relación directa (el mecanismo de cojín de aire), ya que la acción directa de la fuerza creada por el flujo de aire eyectado contra una superficie, genera una acción hacia arriba la cual es lo suficientemente fuerte como para separar al aerodeslizador de la superficie en cuestión. (Rodríguez Maluenda, 2007 págs. 5-6)

Figura 1. Aerodeslizador SR-N6 que muestra el mecanismo de cojín de aire



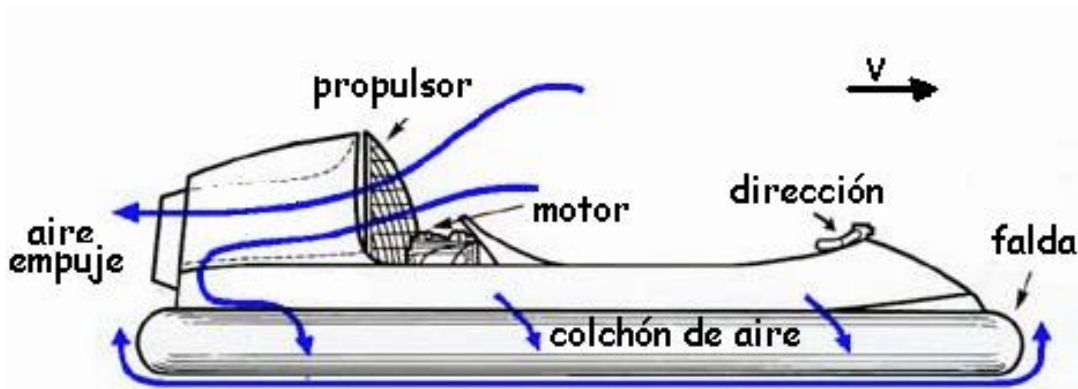
Fuente: (Carrillo Vilchis , y otros, 2006 pág. 6)

2.1.2 Sistema de suspensión. Este sistema es capaz de suspender el vehículo para que pueda movilizarse sobre cualquier superficie. Para lograr esto es necesario lanzar un

flujo de aire sobre la superficie que se encuentra debajo del aerodeslizador mediante la inclusión de un ventilador de manera que pueda absorber un caudal de aire del exterior y elevar su velocidad lo necesario para que a la hora de lanzar el flujo de aire genere un aumento de presión, generando un colchón de aire con una presión superior a la atmosférica y que además sea capaz de generar una fuerza de empuje necesaria para mantener suspendido el vehículo.

Se pueden usar varios tipos de ventiladores, entre los cuales destacan los ventiladores centrífugos, los axiales y los de flujo mixto, etc. La elección del mismo queda a criterio del diseñador, ya que cada uno de los ventiladores mencionados tiene características específicas que serán detalladas más adelante, características que se ajustan mejor a ciertos vehículos en algunos casos. (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 9)

Figura 2. Diagrama de funcionamiento en la que muestra la suspensión y propulsión del vehículo



Fuente: (May Nova, 2003 pág. 1)

2.1.3 Ventilador de suspensión. Genera un flujo de aire que crea presión bajo el vehículo como fue discutido anteriormente. El requerimiento básico es satisfacer la necesidad de presión de aire bajo el aparato y la de flujo de aire que permita que el vehículo mantenga la altura de sustentación sobre diferentes terrenos.

En un aerodeslizador el aire de sustentación es generado usando un ventilador, hélice o propela. (Rodríguez Maluenda, 2007 pág. 36)

2.1.4 Sistema de propulsión. El sistema de propulsión es aquel que permite generar la fuerza de empuje del aerodeslizador. Este sistema consiste en un componente capaz de acelerar el fluido circulante (en este caso el aire). Las fuerzas de arrastre y de suspensión generadas por el flujo de aire sobre las palas del propulsor pueden ser

transformadas en un empuje en la dirección de avance del vehículo y un torque que es la fuerza requerida para generar la rotación en el impulsor.

Así como hay varios tipos de ventiladores para generar la suspensión del vehículo, también hay varios tipos de sistema de propulsión, y dependiendo del diseño que se quiera conseguir dependerá el sistema. Para los aerodeslizadores los más usados son las hélices de aire, las hélices en ductos, los ventiladores en ductos. (Sassarini Bustamante, 2009 págs. 9-10)

2.1.5 Ventilador de propulsión. El efecto de una hélice girando causa un diferencial de presión estático entre las caras delanteras y traseras del disco formado por la hélice girando, siendo esta diferencia de presión la que causa que el aire al ser succionado en el frente, salga expulsado a mayor velocidad por la parte trasera. El sistema de propulsión emplea ventiladores de flujo axial y hélices. Generalmente de tres o más alabes y su tamaño varía en función del empuje que se desea alcanzar. (Rodríguez Maluenda, 2007 pág. 38)

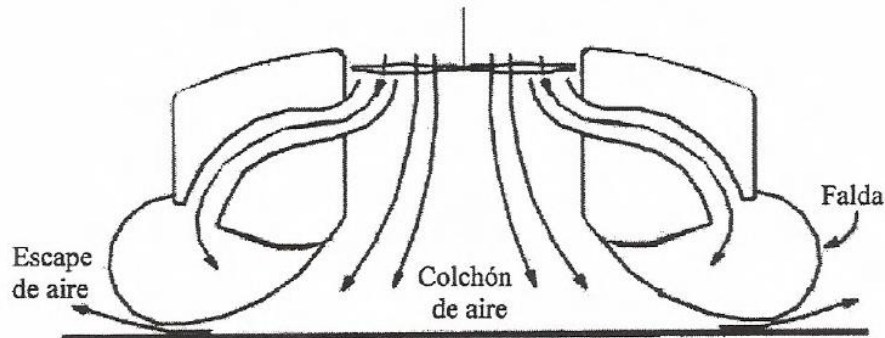
2.1.6 Estructura. Es la base y el inicio del diseño de un aerodeslizador ya que en ella serán incluidos todos los demás componentes del vehículo. Es importante conocer el tipo de vehículo que se está diseñando ya que el diseño de una estructura varía mucho en caso de ser un ACV o un SES. Una vez determinado el tipo de vehículo a diseñar es de suma importancia conocer las fuerzas externas que afectan al vehículo. Asimismo es muy importante determinar los factores de seguridad durante el cálculo de los esfuerzos internos. Una vez determinado estos patrones se pueden obtener diseños basados en los modelos anteriores, dependiendo del uso que se le va a dar al vehículo, ya sea recreacional, militar, de transporte, etc. (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 7)

2.1.7 Faldas. También conocidas como Skirts son elementos que fueron desarrollados años después de la invención de los aerodeslizadores. El objetivo de estas es que el vehículo pueda operar a través de olas de 1.2 a 1.5 metros. Antes de incluir estos accesorios solo podían funcionar a través de olas de 45 cm. como máximo.

El inventor de esta tecnología fue C.H. Latimer Needman en 1958 [4], el cual posteriormente se la vendió a Saunders Roe, de manera que pudieron incluir esta tecnología en el desarrollo de las futuras modificaciones introducidas en su modelo SR.N1. Con la invención de las faldas flexibles se marcó un punto de quiebre en el

diseño de los aerodeslizadores ya que se pudo aumentar la profundidad de colchón cientos de veces, posibilitando la operación de los vehículos en aguas agitadas así como en terrenos irregulares. (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 8)

Figura 3. Alimentación de aire en una falda tipo bolsa



Fuente: (Rodríguez Maluenda, 2007 pág. 29)

2.1.8 *Sistema de dirección.* Para el cambio de dirección se orienta el chorro de aire que producen las hélices de propulsión, para ello se puede girar el conjunto motor-hélice o se emplean timones que desvíen el chorro de aire. (Rodríguez Maluenda, 2007 pág. 39)

2.1.9 *Sistema motriz.* El aerodeslizador necesita potencia para poder movilizarse, por eso es necesario brindarle al sistema un motor que sea capaz de generar la potencia necesaria para mover los sub-sistemas del vehículo, tales como el sistema de suspensión, de propulsión, y además brindar la energía necesaria para el funcionamiento de ciertos componentes secundarios en caso los tuviese incluidos. (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 10)

2.1.10 *Tipos de aerodeslizadores y aplicaciones.* Los vehículos marinos de alta velocidad se pueden clasificar según su principio de funcionamiento, según una clasificación genérica según el tipo de barco, y según una clasificación específica. Los aerodeslizadores están clasificados dentro de la categoría de los vehículos Aerostáticos, y dependiendo del diseño se tiene variantes de clasificación, las cuales son presentadas a continuación: (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 4)

Figura 4. Embarcaciones marinas de alta velocidad

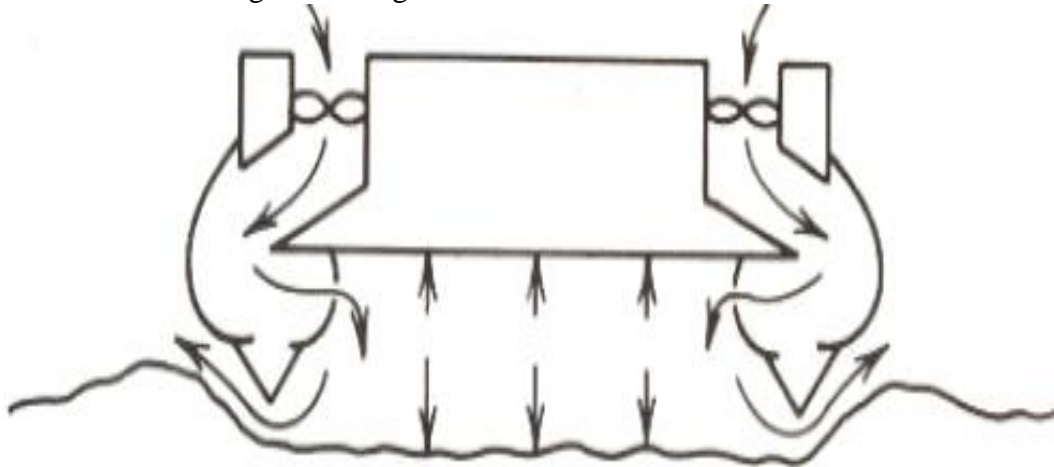
Soporte primario	Clasificación de barcos	Sub-clasificación de barcos
Hidrostáticos	Barcos de desplazamiento	Monocascos
		Multicascos
	SWATH	
Hidrodinámicos	Cascos aplanados	Monocascos
		Multicascos
	Hidroláminas	
Aerostáticos	Cascos lubricados por aire	Cascos aplanados escalonados
		Embarcaciones de burbujas de aire captura
		Hidroquilla
	Cámara tipo “Plenum”	SES. Barco de superficie de efecto
		ACV. Anfibios con falda
	Jet Periférico	ACV Anfibios Sin falda
		ACV Anfibios Con falda
Aerodinámicos	Catamaranes de flujo de canal	
	Embarcación de alas de espolón	WIG de alas de espolón
		WIG de potencia asistida

Fuente: (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 5)

Es importante mostrar esta clasificación ya que así podremos entender rápidamente la diferencia entre esta clase de vehículos y poder identificar exactamente donde está ubicado el vehículo estudiado durante este trabajo.

2.1.10.1 Aerodeslizadores Anfibios (*Amphibious Hovercraft* - ACV). El aerodeslizador anfibio (Fig. 5) está suspendido en su totalidad por su colchón de aire, con una cortina de aire (chorro de alta presión) o un sistema de falda flexible alrededor de su periferia para sellar el colchón de aire. Este tipo de embarcaciones poseen poco calado, y tiene características anfibias. Son propulsados por hélices de aire o ventiladores, los cuales varían según el diseño. (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 6)

Figura 5. Diagrama de un aerodeslizador ACV



Fuente: (Espinoza Sémper, 2008)

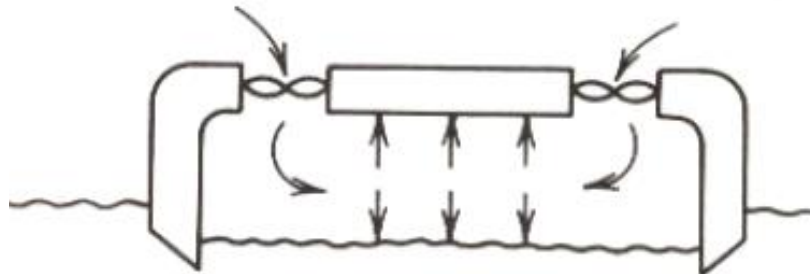
2.1.10.2 Aerodeslizadores de paredes en los costados (*Sidewall Hovercraft* - SES). El vehículo de paredes rígidas laterales "side Wall hovercraft" (SES), es designado a un vehículo de colchón de aire cuyas paredes rígidas se extienden a largo de los lados las que están parcial o totalmente sumergidas en el agua.

Este tipo de vehículo reemplaza la falda flexible por un sello en la proa y la popa usando paredes a los lados o cascos tipo el de los catamaranes. Las paredes a ambos lados del vehículo y la instalación del sello entre la proa y la popa han sido diseñadas para minimizar la potencia de suspensión.

Dada la ausencia de vías de aire a los costados, la potencia de suspensión puede ser reducida significativamente comparada con los aerodeslizadores anfibios. Es posible incluso incluir hélices acuáticas o jets de agua de menor tamaño comparado con los

ventiladores o hélices necesarios para suspender un Aerodeslizador Anfíbio con características similares. (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 6)

Figura 6. Diagrama de un aerodeslizador SES



Fuente: (Espinoza Sémper, 2008 pág. 13)

El ACV puede navegar sobre Tierra, Agua, Hielo, Nieve, Fango, Arena, Grava, Asfalto o cemento, Aplicaciones recreativas, Paseos sobre arena (por el desierto), Pesca familiar, Transportación para el buceo, Caza, Aplicaciones comerciales, Rescate en inundaciones, Paseos turísticos, Servicio de transbordador, Rescate en hielo quebradizo, Aprovechamiento en áreas pantanosas, Conservación de cultivos, Trabajos hidrográficos, Exploraciones diversas en zonas lejanas, Transporte de refugiados, Asistencia en casos de desastre, Tareas de control y vigilancia preservación de la fauna y el medio ambiente, Empleo militar. (Carrillo Vilchis , y otros, 2006 pág. 1)

2.1.11 Equilibrio. El equilibrio significa simplemente que los pesos deben estar equilibrados, por ejemplo el peso del conductor al frente estará compensado con el motor en la parte posterior; el peso del combustible está en constante variación por lo que este es conveniente que este cerca del centro de gravedad, para que no cambie mucho la configuración del aparato. (Hernández Pérez, y otros, 2006 pág. 28)

2.1.12 Estabilidad. Si un vehículo se eleva demasiado, éste tenderá a caerse. Si alguien se para sobre el borde de una máquina de estas cuando esta elevada, el vehículo se ladeará y caerá a tierra en ese punto. Si alguien se para en el borde de un vehículo elevado de esta forma, el aerodeslizador se hundirá en ese punto.

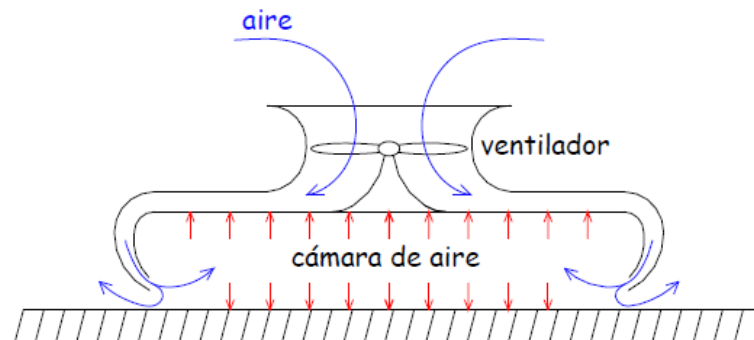
La mayoría de los aerodeslizadores son el doble de largo que su ancho. Como se puede imaginar, un hovercraft será más estable en la dirección de su longitud que a través de su ancho.

Cuando un lado del vehículo sufre una depresión debido a un peso externo o una fuerza por viento, el vehículo se hundirá en la zona donde se ha aplicado la fuerza tal como un fuelle comprimiría el aire en la zona de aplicación de presión. El lado opuesto tendera a levantarse causando que el colchón de aire se expanda. Tan pronto como esto suceda la presión más alta se moverá a la zona de menor presión. (Hernández Pérez, y otros, 2006 págs. 25-26)

2.1.13 *Suspensión del aerodeslizador*

2.1.13.1 *Teoría del colchón de aire*

Figura 7. Diagrama del fenómeno del colchón de aire



Fuente: (May Nova, 2003)

- *Presión.*

El principal fundamento teórico para el desarrollo de los vehículos de colchón de aire es el uso del concepto de diferencia de presiones para poder suspender el vehículo en el aire. Para lograr este objetivo es necesario que el aerodeslizador cuente con un sistema de suspensión capaz de generar una presión lo suficientemente grande para vencer la presión atmosférica.

Como se puede apreciar el aire es tomado del exterior por el sistema de suspensión (en este caso compuesto por ventiladores) para elevar la presión del fluido, de manera que este caudal pasa hacia el “plenum” y es expulsado contra la superficie que se encuentra debajo del vehículo. Esta presión generada deberá ser mayor a la presión atmosférica de manera que sea posible la suspensión del vehículo. Una vez hallada esta diferencia de

presiones se debe analizar el peso del vehículo para hallar un equilibrio estático de fuerzas que asegure la suspensión del vehículo.

Para utilizar este principio de funcionamiento se tuvo que realizar gran cantidad de ensayos tales como los realizados por Sir Thornycroft y Sir Cockerell. Esta teoría es conocida actualmente como la Teoría de colchón de aire (“Air Cushion Theory”) la cual describe el principio de operación de funcionamiento de esta clase de vehículos. (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 43)

Para esto por conceptos de física básica sabemos que:

$$p_c = \frac{F_s}{A_i} \quad (1)$$

Donde:

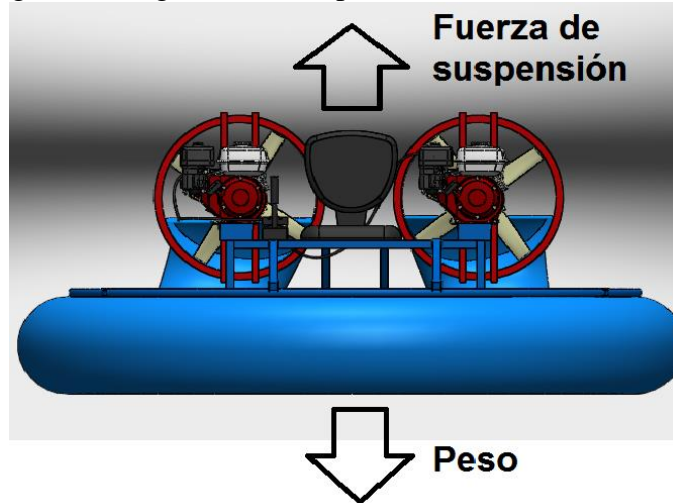
F_s = Fuerza de suspensión.

A_i = Área inferior del vehículo.

p_c = Presión de colchón de aire, presión que es igual a la diferencia de presiones entre la presión absoluta del sistema de suspensión y la presión atmosférica.

En pocas palabras se puede decir que p_c es la presión manométrica generada en el colchón de aire que es capaz de generar la fuerza de suspensión necesaria para generar la fuerza de suspensión mostrada en la figura posterior. (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 43)

Figura 8. Diagrama de cuerpo libre de un aerodeslizador



Fuente: Autores

Sabiendo que el vehículo cuenta con un peso debido a los componentes que lo conforman, tomando en cuenta a los pasajeros y la carga que debe llevar, esta fuerza de suspensión debe ser capaz de soportar el peso total del vehículo en operación, generando un equilibrio estático que se plantea en la siguiente ecuación: (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 43)

$$\sum F = F_s - m_v \times g = 0$$

$$F_s = m_v \times g \quad (2)$$

Donde:

F_s = Fuerza de suspensión.

m_v = Masa total del vehículo.

g = Aceleración de la gravedad

De manera que conociendo el peso total del vehículo podremos obtener la fuerza de suspensión requerida para el funcionamiento del mismo. Este análisis brinda la posibilidad de realizar un análisis directo teniendo definido el peso del vehículo y el área inferior del mismo. Para realizar este análisis se asume que el área inferior del

vehículo no variará durante el proceso de cálculo y se toma en cuenta un pequeño factor de seguridad F_{seg} en el peso del vehículo. (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 43)

Reemplazando la ec. (2) en la ec. (1) y considerando el factor de seguridad obtenemos:

$$p_c = \frac{F_{seg} \times m_v \times g}{A_i} \quad (3)$$

Finalmente se debe agregar un factor de corrección al área inferior, ya que debido a su geometría curva el área efectiva es menor. Diversos autores y diseñadores proponen un valor de η_A de 0.9 para corregir este valor.

$$p_c = \frac{F_{seg} \times m_v \times g}{\eta_A \times A_i} \quad (4)$$

De manera que con esta ecuación se puede calcular fácilmente la presión manométrica necesaria para suspender esta clase de vehículos. (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 45)

- *Caudal*

Otro factor importante a considerar en el funcionamiento de esta clase de vehículos es el caudal de aire generado por el sistema de suspensión Q_s , ya que de este parámetro depende la altura del colchón de aire y evita que se genere fricción entre la superficie inferior del vehículo y la superficie sobre la cual transita. Para calcular este parámetro es necesario conocer la siguiente relación: (Sassarini Bustamante, 2009 págs. 44-45)

$$Q_s = V_s \times A_s \quad (5)$$

Donde:

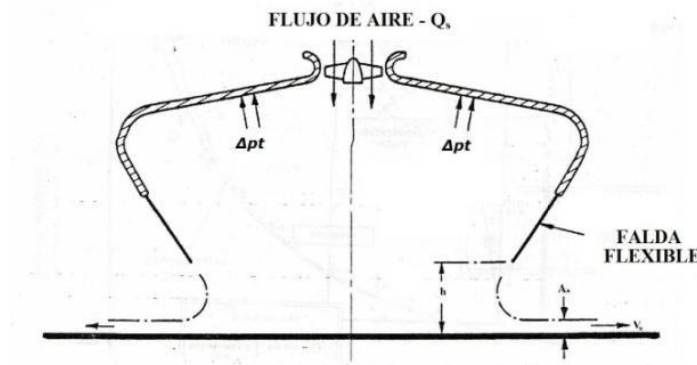
Q_s = Caudal de aire generado por el sistema de suspensión.

A_s = Área de salida.

V_s = Velocidad de salida del flujo de aire.

Es importante mencionar que el valor del área de salida del flujo del aire depende directamente de la altura del colchón de aire h por lo que en el momento de calcular este valor se debe considerar la altura necesaria basándose en recomendaciones de constructores o de experiencias similares. (Sassarini Bustamante, 2009 págs. 45-46)

Figura 9. Esquema del área de salida del flujo de aire



Fuente: (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 46)

Para calcular la velocidad del aire se utiliza la ecuación de Bernoulli mostrada a continuación:

$$\frac{P - p_{atm}}{\rho} + g \times (Z_f - Z_i) + \frac{V_s^2 - V_i^2}{2} = 0 \quad (6)$$

Donde:

P = Presión absoluta del sistema de suspensión.

p_{atm} = Presión atmosférica.

ρ = Densidad del fluido.

Z_f = Altura geodésica final del fluido.

Z_i = Altura geodésica inicial del fluido.

V_s = Velocidad de salida del fluido de la cámara del vehículo.

V_i = Velocidad inicial del fluido.

Sabiendo que se desprecian las alturas geodésicas ya que las dimensiones del vehículo son despreciables para este cálculo, y que el aire tomado para el funcionamiento del vehículo parte del reposo, se puede reordenar esta ecuación de la siguiente forma:

$$V_s = \sqrt{\frac{2 \times (P - p_{atm})}{\rho}} \quad (7)$$

Sabiendo que la diferencia de presiones mostrada se puede escribir de la siguiente manera:

$$p_c = P - p_{atm} \quad (8)$$

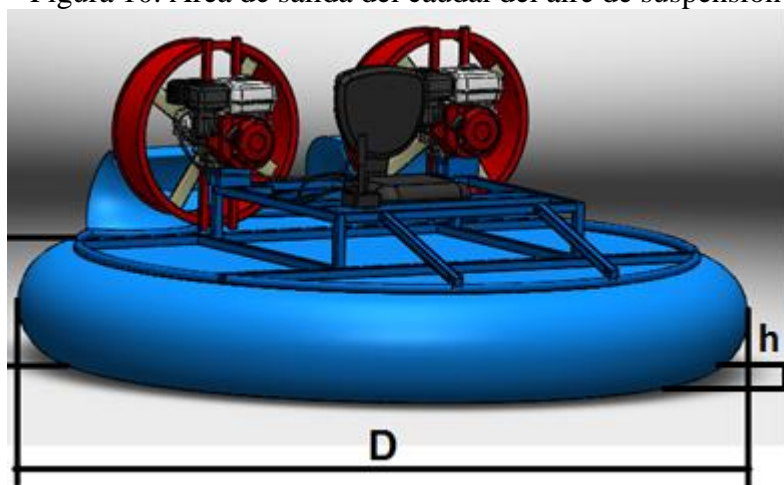
La relación descrita en líneas anteriores quedará de la siguiente forma:

$$V_s = \sqrt{\frac{2 \times p_c}{\rho}} \quad (9)$$

De manera que se puede calcular fácilmente el valor de la velocidad del flujo expulsado por la cámara de aire.

Posterior a esto se debe calcular el valor del área de salida del flujo de aire, para lo cual es necesario conocer la geometría básica del vehículo. (Sassarini Bustamante, 2009 págs. 46-47)

Figura 10. Área de salida del caudal del aire de suspensión



Fuente: Autores

En la figura se muestra la altura del colchón de aire, así como la geometría básica del vehículo indicando el área de salida del aire. Se puede apreciar que la salida del aire es alrededor de todo el perímetro de la cámara, por lo que se podría definir el área de salida de la siguiente manera:

$$As = h \times (\pi \times D) \quad (10)$$

Donde:

h=Altura del colchón de aire.

D=Diámetro de la base del vehículo.

Reemplazando las ec. (9) y ec. (10) en la ec. (5) se obtiene:

$$Qs = \sqrt{\frac{2 \times p_c}{\rho}} \times h \times (\pi \times D) \quad (11)$$

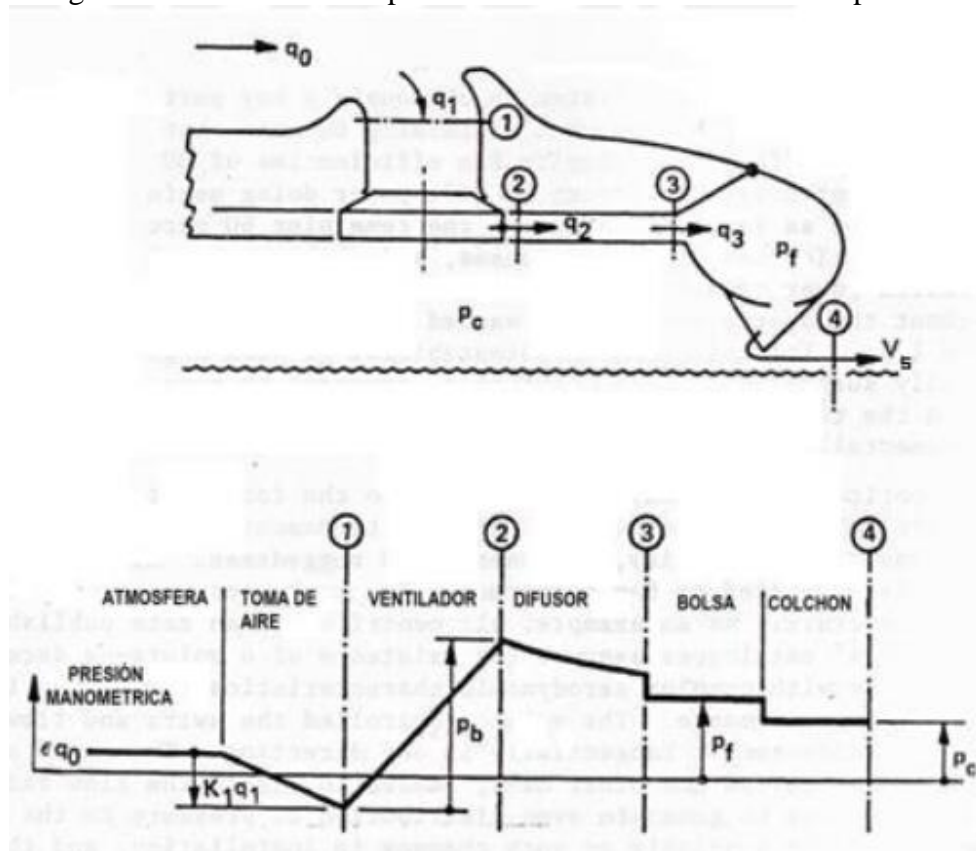
Con esta ecuación queda definido el caudal de aire necesario para evitar el contacto del vehículo con el suelo, conservando el colchón de aire. (Sassarini Bustamante, 2009 págs. 46-47)

2.1.13.2 Eficiencia del sistema de suspensión y determinación de su potencia: El sistema de suspensión es una parte fundamental en cualquier aerodeslizador, pero a pesar de esto, no es un componente muy eficiente aerodinámicamente hablando. A pesar de que la eficiencia de los ventiladores varía entre 80 a 87 por ciento, en algunos vehículos de colchón de aire la eficiencia de dicho sistema llega a ser muy baja, llegando en casos extremos a 40%. El restante 60% se pierde en ineficiencias de la toma de aire, perdida en los difusores y perdidas en los sistemas de falda flexible.

Estos datos proporcionados se refieren a vehículos de gran envergadura, por lo que las proporciones de pérdidas dadas suelen ser menores en vehículos ligeros tal como es el caso del que se está diseñando.

Una forma de cuantificar las pérdidas es ilustrando la distribución de presiones a través de los componentes del sistema de suspensión. Esto se calcula hallando la variación de la velocidad del aire de los componentes y asumiendo ciertos factores que simulen las pérdidas a lo largo del sistema. A continuación, la fig. (11) presenta el esquema del sistema de suspensión del SR.N5 con sus respectivos componentes, así como la distribución de las presiones a lo largo del sistema. Este esquema puede servir de manera general para entender y cuantificar las pérdidas en cualquier sistema de suspensión. (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 48)

Figura 11. Distribución de presiones a través del sistema de suspensión



Fuente: (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 48)

En el caso de la fig. (11), se puede apreciar como varia la presión conforme el fluido recorre los distintos componentes del sistema de suspensión. La imagen que se muestra es la de un vehículo SR. N5 con un ventilador centrífugo instalado. Dependiendo de la clase de vehículo y la clase de ventilador variaran los componentes instalados, en esta imagen se puede observar de manera clara cómo se distribuye la variación de presión. El cálculo de estas pérdidas ya es un tema más complicado, ya que como estas dependen de la velocidad del aire en cada uno de los componentes del sistema, es necesario

realizar mediciones, por lo que solo se puede aplicar a modelos ya existentes. (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 49)

Como se puede apreciar la presión disminuye conforme llega al colchón de aire, por lo que una manera de medir la eficiencia es simplemente dividiendo la presión que llega al colchón entre la presión generada por el ventilador. Una manera de hallar cuanto decae la presión generada en el sistema de suspensión es asumir una eficiencia que puede variar entre 60 a 80% y hallar la presión del colchón de aire tal como se presenta en la siguiente ecuación: (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 49)

$$\eta_s = \frac{p_c}{p_{rv}} \quad (12)$$

Donde:

η_s = Eficiencia del sistema de suspensión.

p_{rv} = Presión real del ventilador.

Es importante mencionar que una vez determinada la presión manométrica del ventilador p_{rv} en función de la presión del colchón de aire, se debe utilizar este valor para calcular el equilibrio estático del vehículo y el caudal a suministrar al colchón de aire, ya que esta presión es la que realmente sustenta al vehículo.

Por eso se debe cambiar las ec. (1) y ec. (9) antes mencionadas de la siguiente manera:

$$p_{rv} = \frac{p_c}{\eta_s} \quad (13)$$

$$V_s = \sqrt{\frac{2 \times p_{rv} \times \eta_s}{\rho}} \quad (14)$$

Quedando definida la presión real del ventilador y el caudal a suministrar de la siguiente manera: (Sassarini Bustamante, 2009 págs. 49-50)

$$p_{rv} = \frac{F_s \times m_v \times g}{\eta_s \times \eta_A \times A_i} \quad (15)$$

$$Q_s = \sqrt{\frac{2 \times p_{rv} \times \eta_s}{\rho}} \times h \times (\pi \times D) \quad (16)$$

De esta manera se realiza un cálculo más aproximado ya que se considera la eficiencia del sistema de suspensión

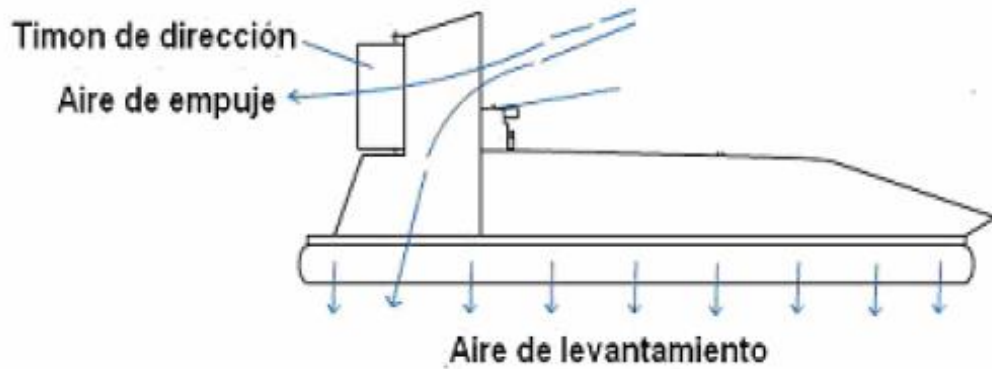
Una vez determinado el punto de operación del ventilador (Q_s, p_{rv}) se puede calcular el consumo de potencia del ventilador, aspecto muy importante a la hora de seleccionar la unidad que suministrara la potencia requerida para su accionamiento.

Esta potencia P_s se calcula de la siguiente manera:

$$P_s = Q_s \times p_{rv} \quad (17)$$

2.1.13.3 Propulsión del aerodeslizador. Permite determinar la potencia necesaria y las revoluciones óptimas para que la hélice pueda generar el empuje necesario para el desplazamiento del vehículo. Es necesario describir los principios físicos que permiten realizar un cálculo aproximado, de manera que se pueda realizar una estimación de los requerimientos energéticos de propulsión. Finalmente se muestran métodos de cálculo alternativos, algunos basados en experiencias de constructores especializados en esta clase de vehículos y otros que se basan en el uso de las teorías aerodinámicas apoyados en métodos numéricos. (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 52).

Figura 12. División del flujo de aire de empuje y de levantamiento



Fuente: (Carrillo Vilchis , y otros, 2006 pág. 2)

- *Teoría del sistema de propulsión*

Para generar el movimiento transversal los aerodeslizadores cuentan con un sistema de propulsión que genera una fuerza de empuje necesaria para mover el vehículo.

Para estimar la fuerza de empuje F_e utilizamos la siguiente expresión obtenida de libros especializados:

$$F_e = \frac{A_t \times \rho \times V_v^2 \times C_D}{2} \quad (18)$$

Donde:

F_e = Fuerza de empuje del vehículo.

A_t = Área transversal del vehículo.

ρ = Densidad del fluido.

V_v = Velocidad del desplazamiento.

C_D = Coeficiente de arrastre del vehículo.

El área transversal fácilmente se puede determinar conociendo la geometría del vehiculó.

Una vez conocido el valor de la fuerza de empuje es posible determinar la potencia necesaria en el sistema de propulsión para generar dicha fuerza. Para calcular esto se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_p = \frac{F_e \times V_v}{\eta_H \times \eta_T} \quad (19)$$

Donde:

P_p = Potencia de propulsión necesaria.

η_H = Eficiencia de la hélice.

η_T = Eficiencia de transmisión entre el motor y hélice.

Reordenando dichas expresiones podemos obtener que:

$$P_p = \frac{A_t \times \rho \times V_v^3 \times C_D}{2 \times \eta_H \times \eta_T} \quad (20)$$

Ecuación que permite calcular directamente la potencia de propulsión necesaria para desplazar el vehículo.

Estos cálculos permiten hallar de manera directa y rápida los requerimientos energéticos del sistema de propulsión, sin embargo en esos cálculos no se toma en cuenta la geometría del componente que suministrara el empuje, que en este caso es una hélice. Por consiguiente para realizar una selección se debe profundizar en los cálculos, utilizando para esto teorías aerodinámicas que describan el comportamiento de la hélice. (Sassarini Bustamante, 2009 págs. 52-54)

CAPITULO III

3. DISEÑO DEL AERODESLIZADOR

En el presente apartado se determina los parámetros fundamentales necesarios para el correcto funcionamiento de los sistemas de suspensión y propulsión, a través de una serie de cálculos y parámetros que servirán de base para la selección de los componentes del sistema.

3.1 Cálculo de la suspensión

3.1.1 Presión. En la siguiente tabla se detalla la masa de cada uno de los componentes, así como la masa total del vehículo, los cuales son datos necesarios para realizar los cálculos posteriores :

Tabla 1. Estimación de masas del aerodeslizador

Componentes	Masa (Kg)
Motores	40 kg
Hélices	5 kg
Ductos de aire	8 kg
Estructura	25 kg
Pasajero	70 kg
Extras	10 kg
Total	150 kg

Fuente: Autores

Una vez determinado la masa total del vehículo, se procede a determinar la presión mínima de suspensión con la ec. (15). Para lo cual es necesario conocer el área inferior del colchón de aire la misma que se la determina a partir de las dimensiones del vehículo. A continuación se realiza el cálculo de la siguiente manera.

Cálculo del área A_i mediante la siguiente ecuación.

$$A_i = \pi \times r^2$$

Donde:

A_i = Área de la sección circular

$$\phi = 2,26m$$

$$r = 1,13 m$$

$$A_i = \pi \times (1,13m)^2$$

$$A_i = 4,01m^2$$

Una vez que se ha determinado el área se procede a realizar el cálculo de la presión real ventilador mediante la ec. (15).

$$p_{rv} = \frac{F_{seg} \times m_v \times g}{\eta_s \times \eta_A \times A_i}$$

Donde:

$$F_s = 1,2, \quad \eta_s = 0,7, \quad \eta_A = 0,9, \quad m_v = 150 \text{ kg}, \quad A_i = 4,01m^2, \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$p_{rv} = \frac{1,2 \times 150\text{kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2}{0,7 \times 0,9 \times 4,01m^2}$$

$$p_{rv} = 698,96Pa \sim 700Pa$$

Se debe mencionar que el valor de $\eta_s = 0,7$ se tomó de la eficiencia del sistema de suspensión y el valor del factor de corrección de área $\eta_A = 0,9$. (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 77)

3.1.2 Caudal. Para evitar que el vehículo tenga contacto con la superficie en la que se desplaza es necesario generar un colchón de aire que mantenga al vehículo a una

altura determinada de la superficie, esto se produce al proporcionar un caudal de aire al faldón, el mismo que debe renovarse constantemente compensando de esta manera la salida del aire por debajo del vehículo.

Para calcular este parámetro es necesario conocer la velocidad de salida del flujo y el área de salida. Para encontrar este valor se utiliza la ec. (16), y se halla como se muestra a continuación. (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 77)

$$Q_s = \sqrt{\frac{2 \times p_{rv} \times \eta_s}{\rho}} \times h \times (\pi \times D)$$

$$\rho = \text{densidad} = 1,2 \frac{kg}{m^3}$$

$$h = 10mm = 0,01m$$

$$\text{perimetro} = \pi \times D = \pi \times 2,26m$$

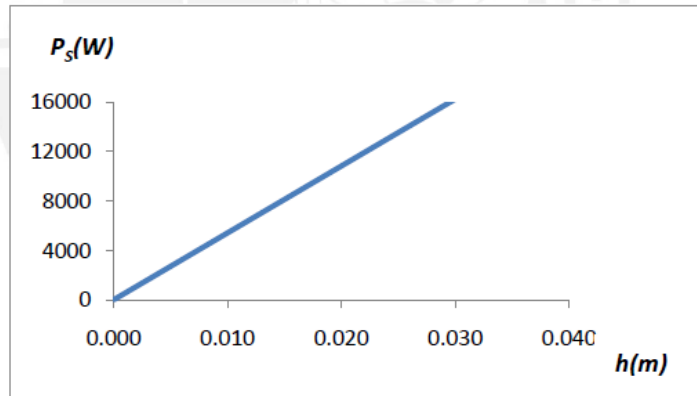
$$\text{perimetro} = 7,09m$$

$$Q_s = \sqrt{\frac{2 \times 700Pa \times 0,7}{1,2 \frac{kg}{m^3}}} \times 0,01m \times 7,09m$$

$$Q_s = 2,02 \frac{m^3}{s} = 4280,13 \frac{ft^3}{min}$$

Es importante aclarar que la altura de elevación del vehículo h tomo un valor de 10mm ya que no es importante la magnitud de la altura de separación del vehículo con el suelo, si no que se produzca una separación mínima cumpliendo de esta manera el objetivo que es evitar el contacto con la superficie, por lo que en realidad la altura tiene relación directa con el consumo de potencia del vehículo a continuación se muestra a través de una figura la dependencia que tiene.

Figura 13. Variación del consumo de potencia con respecto a la altura del colchón de aire



Fuente: (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 79)

3.1.3 *Potencia mínima requerida.* Una vez que se obtenidos los datos del caudal y presión requeridos por el vehículo para su correcto funcionamiento, se procede a determinar la potencia mínima requerida por el vehículo mediante el cálculo utilizando la ec. (17)

$$P_s = \frac{Q_s \times p_{rv}}{\eta_H \times \eta_T}$$

$$\eta_H = 0,7$$

$$\eta_T = 1$$

$$\Delta P_t = 700 Pa$$

$$Q_s = 2,02 \frac{m^3}{s}$$

$$P_s = \frac{2,4 \frac{m^3}{s} \times 700 \frac{N}{m^2}}{0,7 \times 1}$$

$$P_s = 2020 W = 2,7 HP$$

Cabe mencionar que se tomó el valor de 0,7 para n_v ya que es un valor promedio de la eficiencia de un ventilador axial, y el de 1 para n_t ya que la transmisión de potencia del motor al eje del ventilador es directa. (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 79)

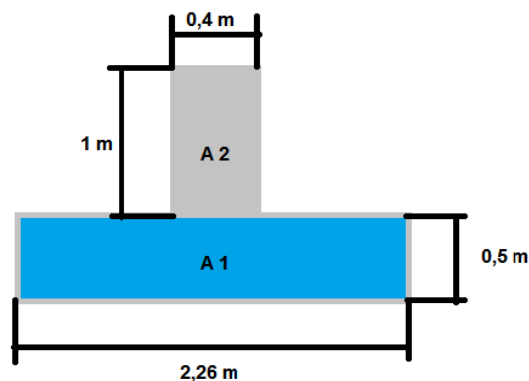
3.2 Diseño del sistema de propulsión

El aerodeslizador debe ser capaz de transitar evitando la fricción propia de estar con contacto sobre la superficie por la cual transita. Por consiguiente al no tener un arrastre propio del contacto entre dos objetos la fuerza de empuje requerida es mucho menor que en la de otra clase de vehículos. A continuación se presentan los cálculos de diseño y selección de manera que basado en esos resultados se pueda diseñar el sistema de propulsión apropiado.

3.2.1 *Cálculo de parámetros de diseño y selección de los componentes del sistema de propulsión.* Para generar la propulsión de un aerodeslizador es necesario contar con una hélice capaz de generar la fuerza de empuje necesaria para vencer la fuerza de arrastre generada por la forma propia del vehículo. A continuación se realizan los cálculos de diseño y selección, los cuales son necesarios para determinar el sistema de propulsión adecuado.

3.2.1.1 *Fuerza de empuje necesaria.* Para calcular este parámetro se debe analizar la geometría del vehículo y calcular el área frontal del mismo. Para esto se basa en el esquema mostrado en la fig. (10) y en la geometría encontrada en capítulos anteriores.

Figura 14. Geometría frontal del aerodeslizador



Fuente: Autores

Una vez analizada la geometría se procede a calcular el valor del área transversal como se muestra a continuación:

$$A_1 = 1,43m^2$$

$$A_2 = 0,4m^2$$

$$A_t = 1,5m^2$$

Una vez conocido este valor se procede a calcular la fuerza de empuje necesaria para generar la propulsión del vehículo utilizando la ecuación mostrada en capítulos anteriores:

$$F_e = \frac{A_t \times \rho \times V_v^2 \times C_D}{2}$$

$$F_e = \frac{1,5m^2 \times 1,2 \frac{kg}{m^3} \times (13,9 \frac{m}{s})^2 \times 0,8}{2}$$

$$F_e = 138,9N = 140N$$

Donde:

$$V_v = 50 \frac{km}{h} = 13,9 \frac{m}{s}$$

Cabe mencionar que el valor de 0.8 para C_D se basó en el cálculo de la resistencia de los automóviles, y el valor de V_v se limitó a 13.9 m/s debido a que estos vehículos no cuentan con un sistema de frenos, por lo que si se excede en la velocidad se pone en grave riesgo la integridad del ocupante. (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 83)

3.2.1.2 Potencia de propulsión necesaria. Conocida la fuerza de empuje se puede calcular la potencia de propulsión mínima requerida de manera simplificada usando la ec. (20). Este valor sirve de referencia a la hora de seleccionar la hélice :

Potencia de propulsión mecánica

$$P_p = \frac{F_e \times V_v}{\eta_H \times \eta_T}$$

$$\eta_H = 0,7$$

$$\eta_T = 1$$

$$P_p = \frac{140N \times 13,9 \frac{m}{s}}{0,7 \times 1}$$

$$P_p = 2780W$$

$$P_p = 3,7 HP$$

Se tomó el valor de 0.7 para η_H debido a que es un valor comúnmente asumido en eficiencia de hélices, y el valor de 1 para η_T ya que se utiliza una transmisión directa.

Una vez conocido este valor se procede a seleccionar la hélice necesaria para generar la fuerza de empuje calculada y posterior a esto se procede a verificar la potencia requerida. (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 83)

3.3 Selección de la hélice

Una vez determinados con anterioridad los valores de flujo y presión necesarios para el correcto funcionamiento del prototipo y analizando los catálogos disponibles en línea se procedió a seleccionar e importar una hélice tipo 3 de 4 aspas con un diámetro de 24 pulgadas de la marca MULTI-WING las cuales generan un flujo de 12000 CFM individualmente utilizando 5,5 HP

3.4 Selección del motor

Una vez seleccionada la hélice, se procede a seleccionar el motor que va a accionar a la misma. El valor de potencia requerido es de 2780 W 3,7 HP. Luego de analizar los parámetros antes mencionados y las propuestas de distintos proveedores, se procedió a

seleccionar el motor de combustión interna de gasolina LONCIN G200F de 6,5 HP. Un aspecto importante a la hora de realizar la selección fue que se utiliza una transmisión directa para transmitir la potencia del motor a la hélice.

3.5 Diseño de la estructura del aerodeslizador

Luego de haber definido los componentes principales del sistema de suspensión y propulsión del vehículo se procede a definir la estructura que servirá como bastidor para la contención de todos los elementos.

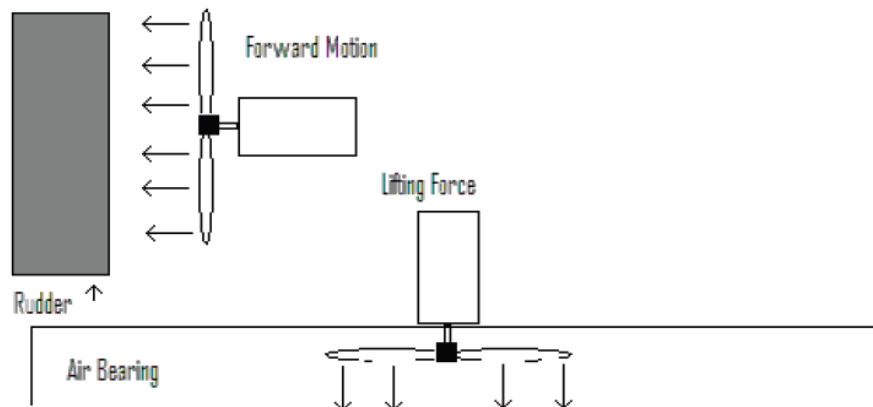
3.5.1 Selección del esquema principal. En el diseño de aerodeslizadores existen diversas configuraciones de la estructura, esto varía dependiendo la configuración de la distribución de la potencia y forma del vehículo.

3.5.1.1 Configuración de la distribución de la potencia. Para que un aerodeslizador pueda cumplir con su funcionamiento, es necesario que cuente con un sistema de suspensión y un sistema de propulsión. Siendo así, es considerado como un aerodeslizador ya que cumple con el principio de suspensión por medio del colchón de aire, y a la vez permite el desplazamiento sobre variadas superficies. Pero a pesar de que los vehículos cuenten con estos dos sistemas, no quiere decir que en general todos los vehículos lleven la misma configuración.

A continuación se describen de manera general tres tipos de configuraciones en la distribución de la potencia, para determinar el tipo que mejor se acople a los requerimientos de este diseño. (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 21)

- *Sistema de propulsión y suspensión separado con unidades de potencia independientes.* Este es el sistema que más aplicación tiene, debido a la total independencia del sistema de suspensión y propulsión. Este sistema permite manipular los componentes por separado por ejemplo se puede suspender el vehículo sin que comunique fuerza alguna que le permita que avance. Una de las ventajas es su simplicidad de construcción, ya que sin la distribución de la potencia al sistema de suspensión y propulsión se puede hacer una transmisión directa de la potencia entre el motor y el ventilador. La desventaja considerada en este tipo de sistema es que al contar con dos motores ocupa mayor espacio y se debe realizar soportes independientes para el acople de cada motor. (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 22)

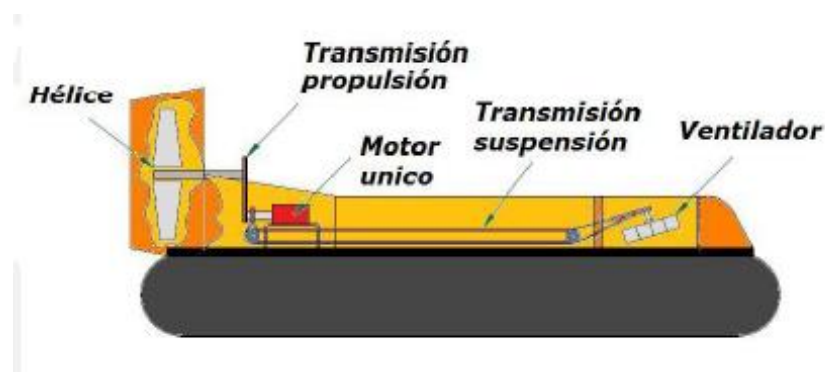
Figura 15. Esquema de funcionamiento de un aerodeslizador con sistema de suspensión y propulsión separado con unidades de potencia independientes



Fuente: (PRAGYAN, 2015 pág. 6)

- *Sistema de propulsión y suspensión separado con una sola unidad de potencia.* Esta configuración cuenta con un solo motor que transmite la potencia a los sistemas de suspensión y propulsión, una ventaja de este sistema es que al contar con una sola unidad de potencia se aprovecha el espacio disponible y se disponen de mejor manera los demás componentes. La desventaja que conlleva al utilizar esta configuración es que al arrancar el sistema de suspensión y propulsión empiezan a trabajar en paralelo. Debido a esta desventaja esta configuración necesita de un mecanismo de embragues para independizar los sistemas, lo cual construir este mecanismo resulta molesto cuando se trata de vehículos recreacionales y de pequeña escala. (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 22).

Figura 16. Esquema de funcionamiento de un aerodeslizador con sistema de suspensión y propulsión separado con una sola unidad de potencia

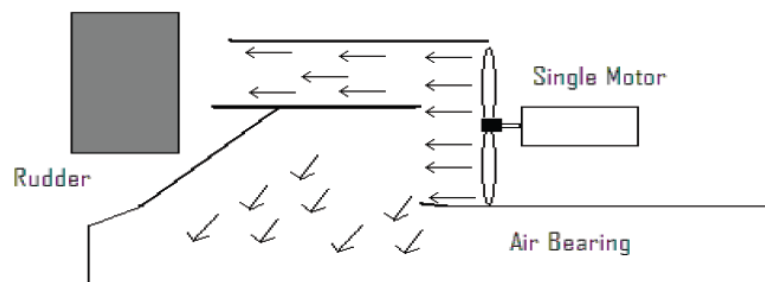


Fuente: (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 23)

- *Sistema de propulsión y sustentación integrado.* Aerodeslizador integrado es aquel que lleva una configuración que cuenta con un motor y un ventilador para la propulsión y sustentación, este sistema proporciona un porcentaje de aire al sistema de suspensión y otro porcentaje al sistema de propulsión. La aplicación de estos vehículos en carreras se debe a la gran ventaja de ser más compactos debido a su menor tamaño y su bajo peso.

Una de las desventajas que le caracterizan a esta configuración es que el diseño resulta más complicado debido a que la distribución de la porción de aire tanto para el sistema de suspensión y propulsión debe ser la adecuada, por lo que la selección del ventilador y la configuración del ducto debe ser la óptima, para que no afecte en el desempeño del vehículo. (Sassarini Bustamante, 2009 págs. 23-24)

Figura 17. Esquema de funcionamiento de un aerodeslizador con sistema de suspensión y propulsión integrado



Fuente: (PRAGYAN, 2015 pág. 6)

3.5.1.2 Selección de la forma del vehículo. Otro paso importante en el diseño de la estructura es la selección de la geometría de la base del vehículo. Al hablar de geometría no solo se dice la forma que va a tener el vehículo sino que también se está hablando de las dimensiones, este parámetro va a repercutir en el diseño de la forma de la cabina. Existen variadas formas constructivas de la base de aerodeslizadores, a continuación se mencionan tres de esta clasificación: forma circular, triangular y rectangular.

- *Forma circular.* Este diseño en su gran mayoría se adapta para una sola persona, es de fácil diseño, construcción y maniobrabilidad. (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 26)

Figura 18. Aerodeslizador de forma circular



Fuente: (AIRBOARD PTY pág. 8)

- *Forma rectangular.* Esta forma es de fácil diseño y construcción, ya que no representa mayores cálculos numéricos, la desventaja que experimenta este diseño es la utilización de mayor cantidad de materiales para su construcción. (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 26)

Figura 19. Aerodeslizador de forma rectangular UH-13 PT



Fuente: (Carrillo Vilchis , y otros, 2006 pág. 10)

- *Forma triangular.* Este diseño es más vistoso, si se habla de estética, pero tiene la desventaja que resulta más difícil el cálculo numérico y la construcción, ya que se debe realizar conforme a la teoría aerodinámica para evitar el rozamiento con el aire. (Sassarini Bustamante, 2009 pág. 27)

Figura 20. Aerodeslizador triangular UH-13P



Fuente: (Carrillo Vilchis , y otros, 2006 pág. 9)

3.5.2 *Selección de alternativa óptima.* Luego de analizar las ventajas y desventajas que conlleva la utilización de cada tipo de configuración de transmisión de la potencia, se utiliza un sistema de propulsión y sustentación integrada, puesto que el montaje entre el motor y la hélice es de forma directa y no depende de embragues para independizar la suspensión de la propulsión.

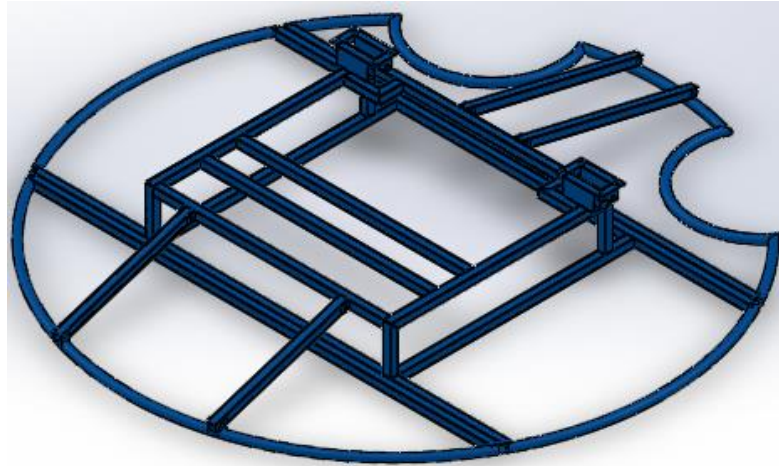
En cuanto a la selección de la forma geométrica se escogió la forma circular debido a su simplicidad de diseño ya que no es necesario analizar los perfiles aerodinámicos como en los otros casos.

3.6 Modelado y simulación en software del prototipo

3.6.1 *Modelado de la estructura de la suspensión y propulsión.* Una vez definidas las dimensiones de los componentes principales de los sistemas de suspensión y propulsión, se procede a modelar una estructura capaz de soportar la instalación de dichos componentes, de manera que pueda servir de bastidor al aerodeslizador.

Para el modelo de la estructura se utiliza el software Solidworks, se realiza una estructura que sea capaz de soportar los 150 kg de peso para la que fue diseñada, además que pueda satisfacer los requerimientos de dimensiones. Para este diseño se toma en cuenta el diámetro del ducto, tamaño y posicionamiento de los motores, posicionamiento del conductor y dimensiones como largo, ancho y alto.

Figura 21. Modelado de la estructura



Fuente: Autores

Los planos de la estructura se encuentran en apartados posteriores, ver planos.

3.6.2 *Modelado del ducto de aire.* Luego de conocer las dimensiones definitivas de la hélice se proceden a modelar el ducto adaptándose de esta manera a las dimensiones de la estructura, evitando problemas en el ensamble posterior ver plano del ducto.

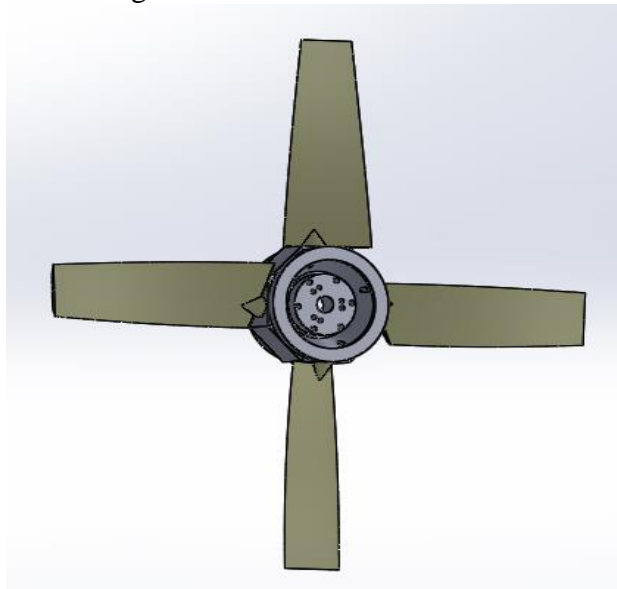
Figura 22. Modelado del ducto



Fuente: Autores

3.6.3 *Modelado de la hélice.* Una vez determinado el tipo de hélice y la forma aerodinámica se modela la hélice en el software de solidworks. Es necesario aclarar que el centrado de la hélice al ducto debe ser milimétrico puesto que juega un papel importante aerodinámicamente hablando.

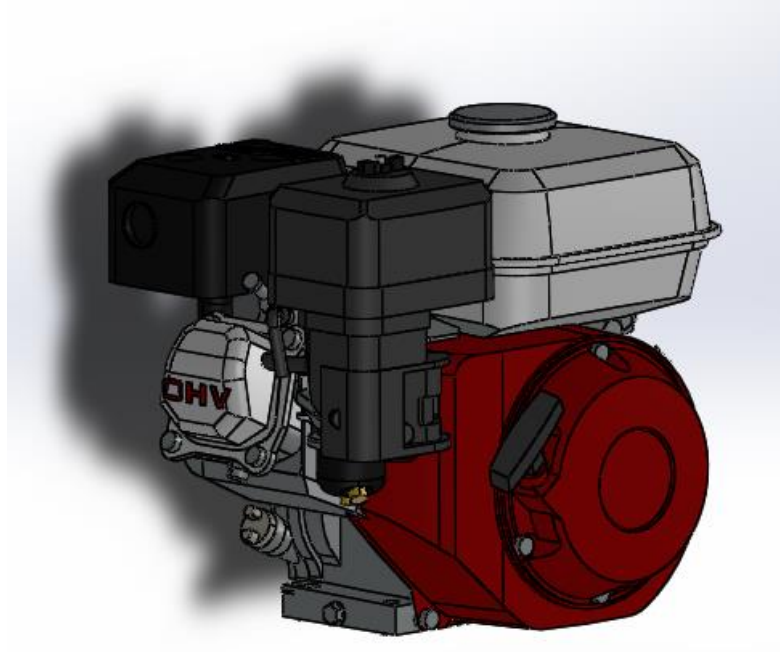
Figura 23. Modelado de la hélice



Fuente: Autores

3.6.4 *Modelado del motor.* Se modela el motor respetando las dimensiones de fábrica en los planos se especifican las dimensiones.

Figura 24. Modelado del motor



Fuente: Autores

3.6.5 *Modelado del asiento.* Se modela y ensambla el asiento tomando en cuenta su ubicación en el prototipo, puesto que es necesario que se encuentre ubicado de manera correcta en la estructura, ya que esto garantiza un equilibrio óptimo del vehículo.

Figura 25. Modelado del asiento



Fuente: Autores

3.6.6 *Modelado del mecanismo de aceleración.* Para este modelo se respeta el posicionamiento respecto al conductor ya que debe ser cómodo y de fácil conducción ver los planos.

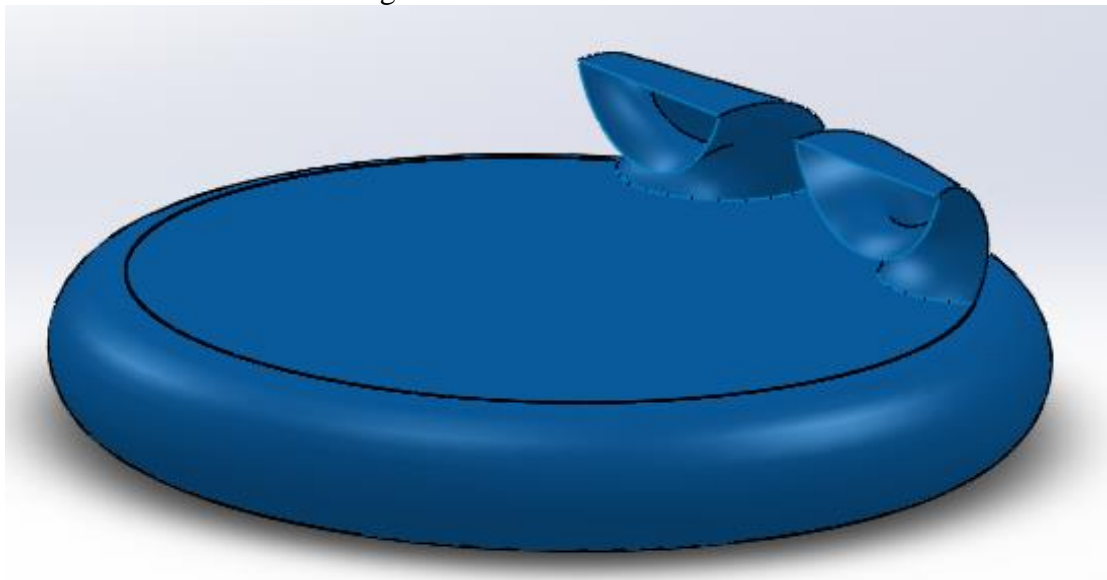
Figura 26. Modelado del mecanismo de aceleración



Fuente: Autores

3.6.7 *Modelado del faldón.* Se realiza este modelo de forma circular respetándose el diámetro y la altura del faldón, ver plano.

Figura 27. Modelado del faldón



Fuente: Autores

3.6.8 *Análisis y selección del material para la estructura del prototipo.* Para la selección del material de la estructura del prototipo se tomó como alternativa el acero dulce de bajo carbono con designación ASTM A500.

Este material fue tomado en cuenta luego de realizar una revisión de catálogos de fabricantes nacionales y verificar que se encuentra disponible en el mercado.

En siguiente tabla se muestra las propiedades mecánicas del acero

Tabla 2. Propiedades mecánicas del acero ASTM A500

Material	Fy(kg/cm ²)	Fu(kg/cm ²)	E(MPa)	ν
Acero ASTM500	2740	3162	200,000	0,3

Fuente: <https://es.scribd.com/doc/120288042/acero-A500>

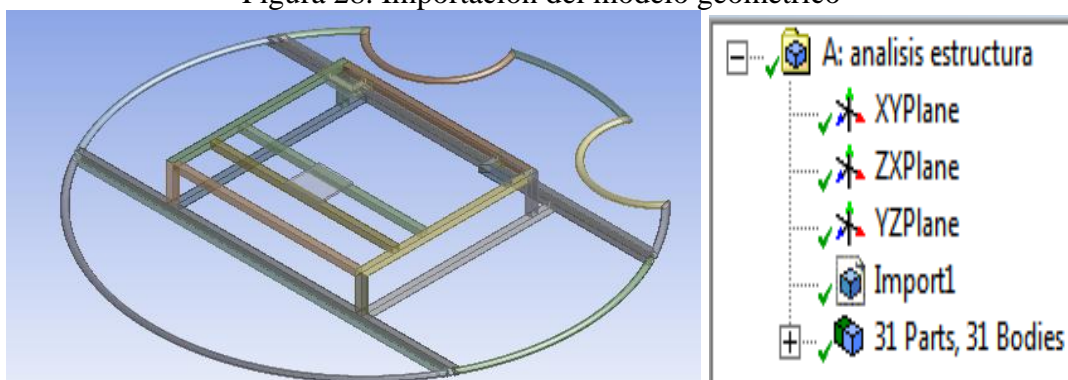
Luego de verificar la disponibilidad del material en el mercado nacional se analizó la estructura con la ayuda de un software de análisis de elementos finitos, para verificar que el acero pueda soportar los esfuerzos presentes en la estructura; caso contrario de utilizar un material que cumpla con los requerimientos de diseño.

3.6.8.1 *Obtención del esfuerzo último permisible del acero en un software.* Para determinar el factor de seguridad es necesario obtener el esfuerzo último del acero por lo cual se introduce los parámetros requeridos del material a utilizar y de esta manera mediante el software de análisis de elementos finitos se obtiene dicho valor.

- *Importación del modelo geométrico.*

La importación del modelo geométrico, se lo realiza desde solidworks a ansys workbench modelo que es capaz de incluir todas las cargas y restricciones que propone el diseño.

Figura 28. Importación del modelo geométrico



Fuente: Autores

- *Definir el material*

Para el análisis utilizando el método de elementos finitos se requieren parámetros que definan las características esenciales del diseño, entre las características necesarias es definir el tipo de material con el que se va a construir la estructura y el cual va a soportar las cargas, para este caso se ha definido como material un acero ASTM A500. Se introduce el valor del módulo de Young de $2E+05$ MPa y el valor de la relación de poisson de 0,3 para definir el tipo de material.

Figura 29. Designación de propiedades del acero ASTM A500

	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data		Source	Description
2	Material			
3	ASTM A500			
4	Structural Steel			Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material			

Properties of Outline Row 3: ASTM A500					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Isotropic Elasticity				
3	Derive from	Young's...			
4	Young's Modulus	2E+05	MPa		
5	Poisson's Ratio	0,3			
6	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa		
7	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa		
8	Field Variables				
9	Temperature	Yes			

Fuente: Autores

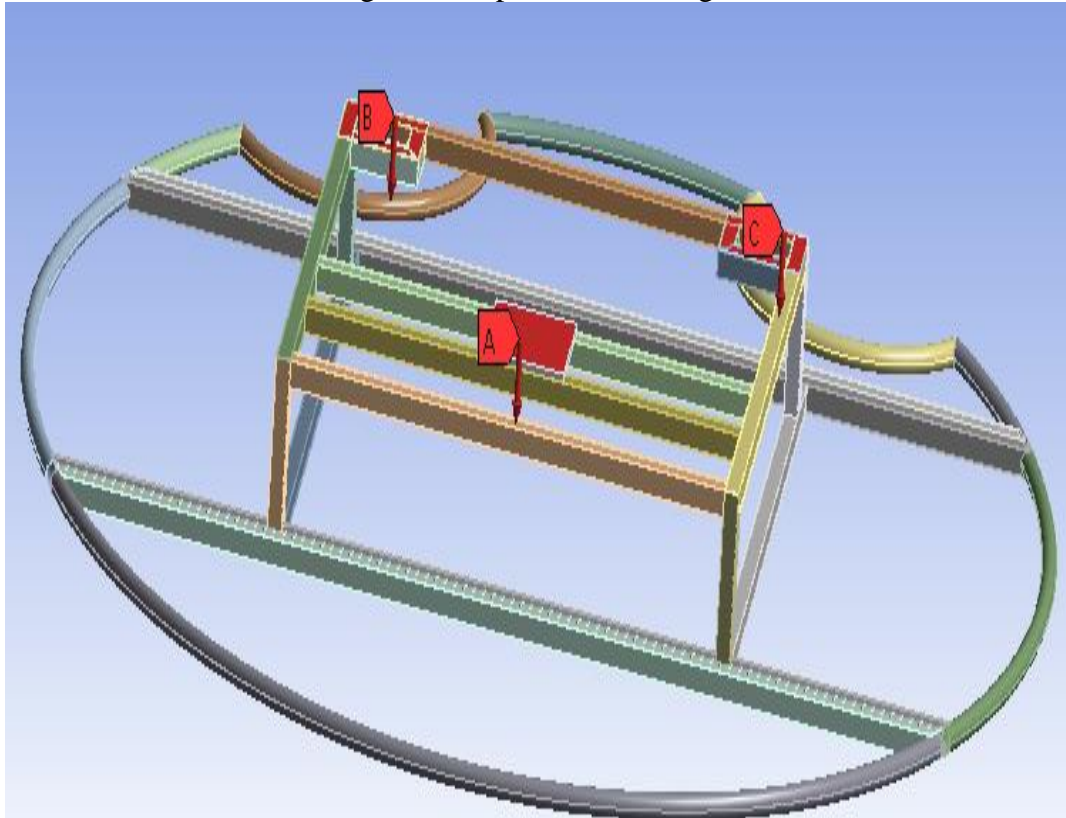
- *Aplicación de cargas*

El proceso continúa y se debe ingresar información sobre las cargas a las que va a estar expuesta la estructura.

Al estimar los pesos que soportara la estructura se aclaró que los motores tienen una masa de 20 kg cada uno y la persona 70 kg que al multiplicar por el valor de la aceleración de la gravedad se tiene 196N y 686N respectivamente.

La designación B y C representan las cargas de los motores con un valor de 196 N independientemente y la designación A representa el peso de la persona con un valor de 686 N.

Figura 30. Aplicación de cargas



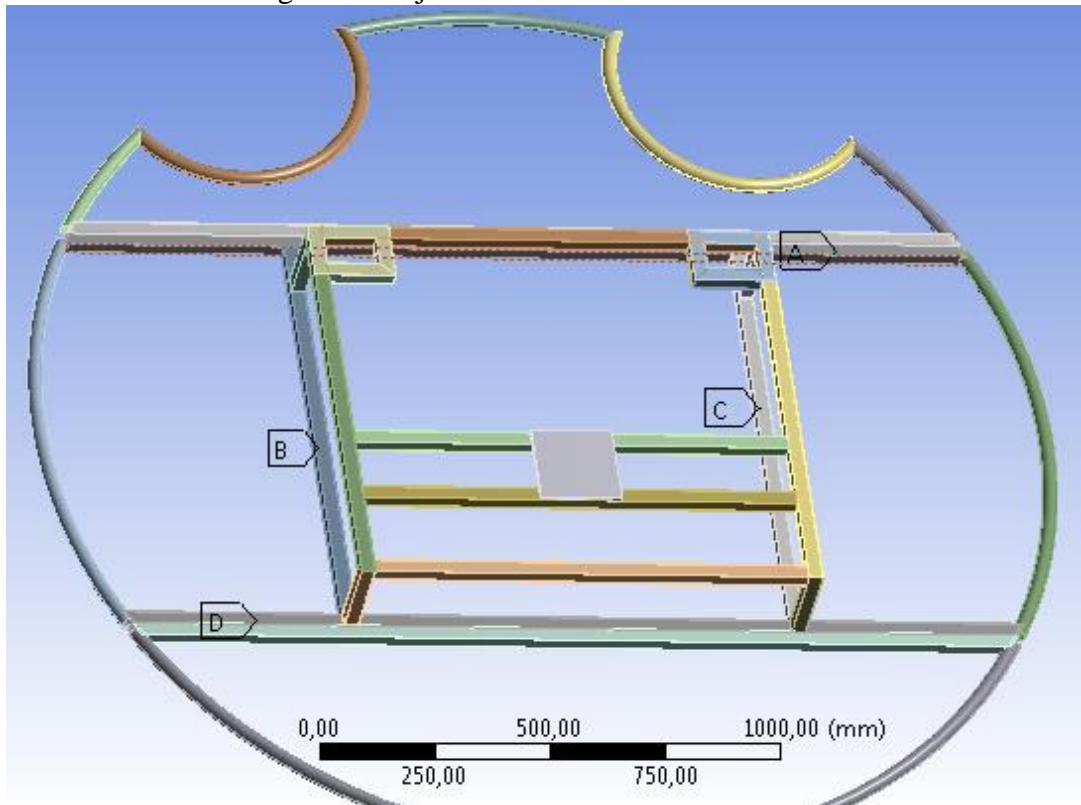
Fuente: Autores

- *Aplicación de restricciones*

Se define a continuación el tipo de soporte aplicado a los elementos de la estructura que eviten el movimiento de traslación y rotación durante el análisis.

La designación A, B, C, Y D representan los elementos estructurales que se encuentran privados del movimiento longitudinal y rotacional.

Figura 31. Fijación de elementos estructurales

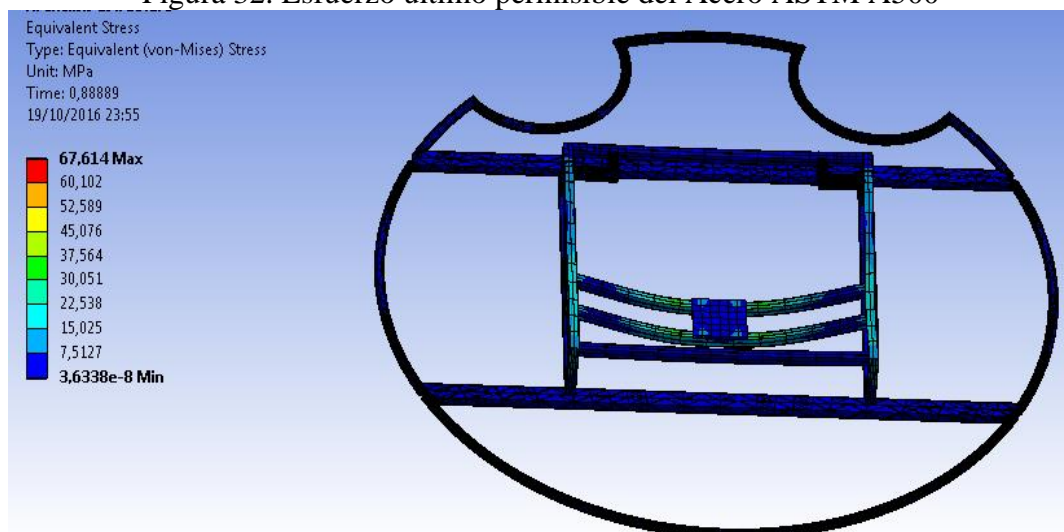


Fuente: Autores

- *Solución del software*

En este análisis se determina el esfuerzo último admisible de Von Mises y la deformación total del prototipo.

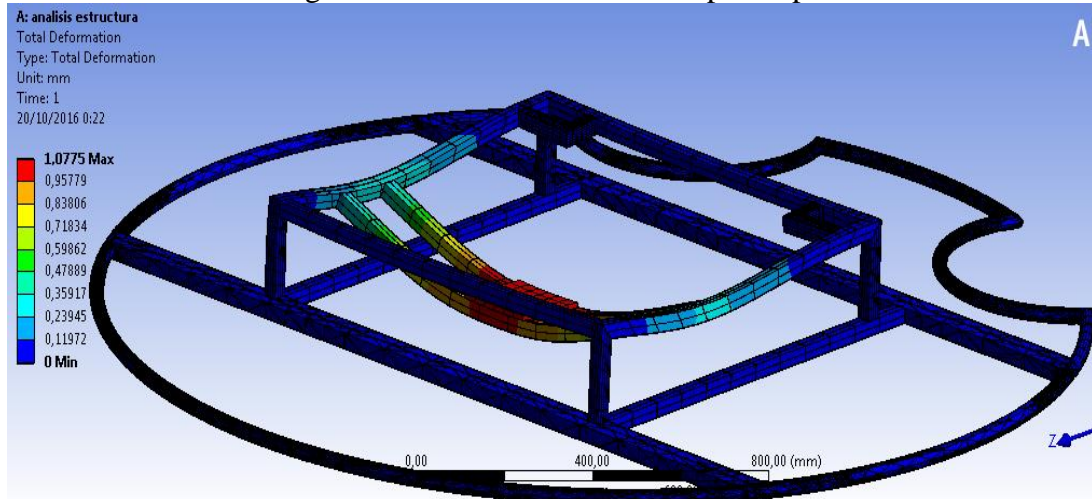
Figura 32. Esfuerzo ultimo permisible del Acero ASTM A500



Fuente: Autores

El esfuerzo último máximo admisible arrojado por el software es de 67,614 MPa y el esfuerzo mínimo es de 3 ,6338 E-08 MPa, para realizar los cálculos se toma el valor máximo.

Figura 33. Deformación total del prototipo



Fuente: Autores

La deformación máxima que presenta el prototipo es de 1, 0775 mm y la deformación mínima es de 0 mm.

Mediante la relación del esfuerzo último real sobre el esfuerzo último admisible se puede calcular el factor de seguridad.

$$\eta = \frac{\text{Esfuerzo último real}}{\text{Esfuerzo último admisible}}$$

$$\eta = \frac{310\text{MPa}}{67\text{MPa}} = 4,62$$

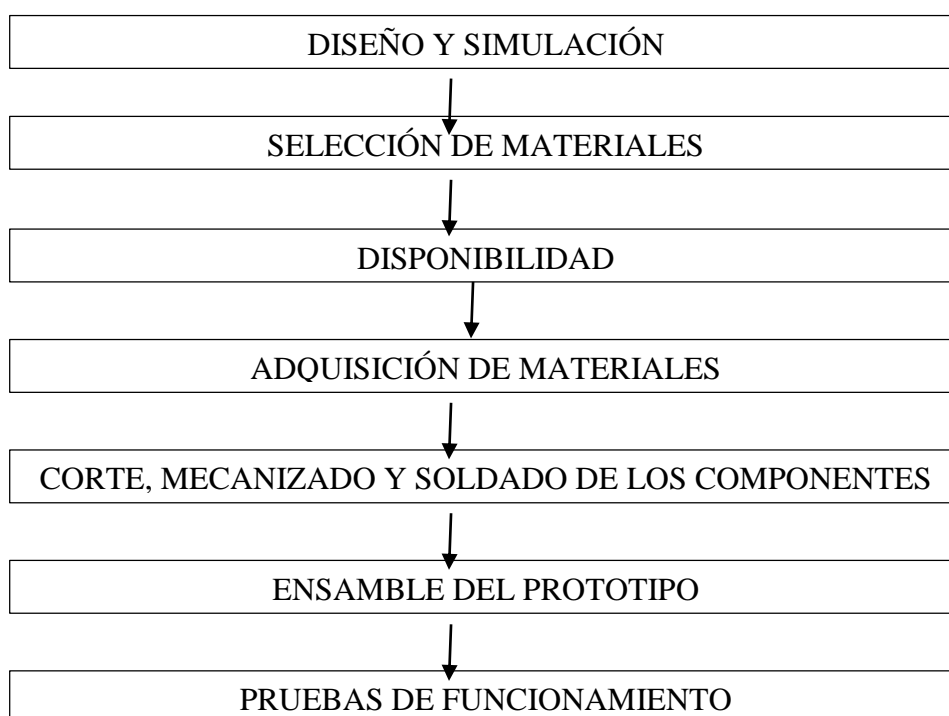
Mediante el análisis realizado con la ayuda de software, la estructura presento los resultados anteriores, dándonos un coeficiente de seguridad aproximadamente de 4,62, este coeficiente de seguridad es aceptable y está sobredimensionado según condiciones de diseño, lo cual asegura que la estructura soportará adecuadamente los esfuerzos producidos durante el funcionamiento del prototipo.

CAPITULO IV

4. CONSTRUCCIÓN

4.1 Proceso

Para realizar el proceso de construcción se sigue la secuencia que se muestra a continuación.



4.2 Selección de materiales

Tabla 3. Materiales

Proceso	Designación de materiales	Disponibilidad	Cantidad
Estructura	Tubo cuadrado negro 1 ¼ ”	Si	5
	Tubo redondo negro 1 ¼ ”	Si	1 ½
	Bisagras	Si	6

Eje de transmisión motor-hélice	Eje de transmisión D = 1"	Si	1
Ducto	Fibra de vidrio	Si	2
	Resina de poliéster	Si	2
	Tubo cuadrado	Si	½
Faldón	Lona	No	1
	Broches	Si	100
Asiento	Asiento	Si	1
	Tubo Cuadrado	Si	¼
Dirección	Palanca	Si	1
	Cable de aceleración	Si	2
Flotadores	Lona	Si	4
	Válvulas	Si	4

Fuente: Autores

4.3 Análisis y ejecución de tiempos

4.3.1 *Tiempo de construcción*

Tabla 4. Análisis y ejecución de tiempos

Componente o elemento de la máquina	Actividad tecnológica	Tiempo (horas)
Estructura	Corte de tubos	16
	Doblado de tubos	8
	Unión por soldadura	24
	Unión por bisagras	4
	Perforaciones con taladro para paso de tornillos , pernos , etc.	4
	Elaboración de la base de motor de combustión	16
	Esmerilado y pulido	6
Acople de eje de transmisión	Colocación y centrado del eje en el torno	½
	Desbastado	2

motor- hélice	Conicidad	½
	Taladrado interno	1
	Perforaciones con taladro para prisioneros	1
	Ranura interna para los seguros	2
	Roscado	1
	Pulido	½
Ducto	Moldeado en fibra de vidrio	32
	Estructura para el ducto	16
	Perforaciones con taladro para paso de tornillos , pernos , etc.	2
	Masillado y pulido	8
Falda	Corte del material	48
	Cocido de la falda	16
	Colocación de los broches	8
Asiento	Elaboración de la base del asiento	8
	Perforaciones con taladro para paso de tornillos , pernos, etc.	4
	Esmerilado y pulido	4
Dirección	Perforación para colocar el cable de aceleración.	2
	Elaboración de la base de la palanca	6
	Esmerilado y pulido	2
Flotadores	Cortado y sellado	8
	Ubicación de válvulas	2

Fuente: Autores

4.3.2 *Tiempo de ensamblaje.* Los tiempos utilizados durante el ensamblaje de la máquina se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 5. Proceso de ensamblaje

Operación	Tiempo (horas)
Obtención y traslado de materiales	4
Montaje de estructura	2
Montaje del faldón	2
Montaje del ducto	4
Montaje de la hélice en el motor	4
Montaje del motor	2
Montaje del asiento	1
Colocación del sistema de aceleración	2
Montaje de flotadores	4

Fuente: Autores

De las tablas (5 y 6) se determina que el tiempo total utilizado para la construcción y montaje de los componentes es:

Tiempo de construcción + Tiempo de montaje = 252.5 h + 25 h.

En total se tiene 277,5 horas de trabajo, equivalente a 34,6 días .La jornada fue de 8 am a 18 pm de lunes a viernes, resultando un mes tres semana aproximadamente.

4.4 Máquinas y herramientas utilizadas

Tabla 6. Maquinaria y herramientas

DESIGNACIÓN	MÁQUINAS Y EQUIPOS	ESPECIFICACIONES
M1	Esmeril	Potencia: 3/4 HP
		Velocidad: 3400RPM
M2	Amoladora	Potencia: 3/4 HP
		Velocidad: 0-100/300 RPM
M3	Taladro de mesa	Potencia: 1 HP
		Velocidad: 1745 RPM
M4	Torno	Potencia: 3 HP
		Velocidad: 3-400 RPM
M5	Soldadora Eléctrica	Amperaje: 225 A
		Voltaje: 240
M6	Dobladora de planchas	Longitud: 1.80 m
		Fuerza máxima: 60kgf

M7	Prensa hidráulica	Potencia : 3HP
		Presión Máxima : 0-300 bar
M8	Cizalla	Capacidad de corte: 3mm
M9	Cierra manual	Dientes finos
M10	Taladro de mano	Potencia : 1050 W
		Velocidad : 0-100/1750RPM
M11	Dobladora de perfiles	Longitud: 1.65 m
		Fuerza máxima: 80Kgf

Fuente: Autores

Tabla 7. Herramientas y accesorios empleados en la construcción

DESIGNACIÓN	HERRAMIENTA
H1	Calibrador
H2	Flexómetro
H3	Escuadra
H4	Rayador
H5	Nivel
H6	Entenalla
H7	Arco de sierra
H8	Limas
H9	Llaves
H10	Martillo
H11	Brocas
H12	Llave de tubo
H13	Tijera
H14	Combo
H15	Yunque

Fuente: Autores

4.5 Narrativa de construcción

4.5.1 *Importación de las hélices.* Se realizó la importación de las dos hélices que se van a utilizar en la construcción del prototipo ya que no se las encuentra disponibles en

el mercado y su fabricación resultaría muy compleja sumado a que no se tiene a disposición la maquinaria necesaria para su fabricación.

Figura 34. Hélice importada



Fuente: Autores

4.5.2 *Adquisición de los motores.* Se realizó la adquisición de los motores con las características señaladas con anterioridad para la construcción del prototipo.

Figura 35. Motores de combustión interna



Fuente: Autores

4.5.3 *Construcción de la estructura*

La construcción de la estructura se la realizó utilizando el acero ASTM A500 seleccionado previamente el cual cumple todos los requerimientos de diseño asegurando de esta manera que el conjunto funcione de manera correcta.

A continuación se detalla cada uno de los procesos de construcción realizados:

- *Doblado de tubos*

Basándose en los planos se procede a realizar el doblaje de los tubos que van a formar el chasis del aerodeslizador, para ello se emplea una dobladora de tubos que actúa mediante fuerza mecánica, consiguiendo de esta manera las curvaturas necesarias las cuales brindan las características propias de la estructura.

Figura 36. Doblado del tubo principal



Fuente: Autores

Figura 37. Doblado de tubo para las entradas de aire



Fuente: Autores

- *Corte de tubos*

Para fabricar la estructura se realiza el corte de los tubos y la preparación de los extremos, los mismos que posteriormente serán soldados.

La unión directa entre los perfiles circulares y cuadrados necesitan un corte “perfilado”, que a menudo se denomina “silla de montar”.

Figura 38. Cortado de tubo para la estructura



Fuente: Autores

Figura 39. Medición del diámetro de las entradas de aire para cortar el tubo.



Fuente: Autores

Una vez que se obtiene la forma principal con el tubo redondo, se procede a cortar los tubos cuadrados con las medidas adecuadas para situar transversalmente y que sirvan como medios para el despliegue y soporte de la estructura del asiento y del motor

Se realiza el corte de dos tubos cuadrados para situar forma longitudinal y unirlos con los tubos que están ubicados de forma transversal, estos tubos son esenciales ya que soportaran el peso de los motores y la persona a ubicarse en el asiento.

- *Unión por soldadura*

Una vez finalizado el doblaje y corte del material, se realiza el proceso de soldadura donde se unen todos los tubos, que en conjunto formarán el chasis, para esto se sitúa los elementos en la posición adecuada y se procede a soldar

Figura 40. Unión de extremos de la estructura principal



Fuente: Autores

- *Unión por bisagras*

En el diseño previo de la estructura esta dividió en tres secciones desplegables, con la finalidad de que su transporte y posterior traslado sea factible y se lo pueda realizar en una camioneta, motivo por el cual se realizó las uniones mediante bisagras.

Figura 41. Despliegue luego de colocar las bisagras



Fuente: Autores

- *Perforaciones con taladro*

En este proceso se realiza las perforaciones necesarias en los tubos para situar los pernos que sujeten el faldón, el motor, el asiento y la base del ducto.

4.5.4 *Elaboración de la base de motor de combustión*

El motor debe estar situado a una altura determinada la cual permite la ubicación de los ductos de aire, razón por la cual se realiza un armazón que permita cumplir esta función.

En este proceso se realiza el corte y posteriormente la soldadura de los tubos cuadrados que van a situarse sobre la estructura soportando de esta manera la carga de los motores.

Figura 42. Base del motor



Fuente: Autores

Figura 43. Armazón Principal que soporta el motor



Fuente: Autores

- *Esmerilado y pulido*

Por estética es necesario realizar el pulido luego de terminar el proceso de soldadura para evitar imperfecciones que dificulte el proceso de pintura.

Figura 44. Esmerilado de la base del motor



Fuente: Autores

4.5.5 Construcción del eje de separación de transmisión motor – hélice

- *Colocación y centrado del eje en el torno*

Para conseguir un correcto mecanizado del eje es necesario centrar el material a mecanizar en el mandril.

Figura 45. Posicionamiento del eje y herramientas de corte

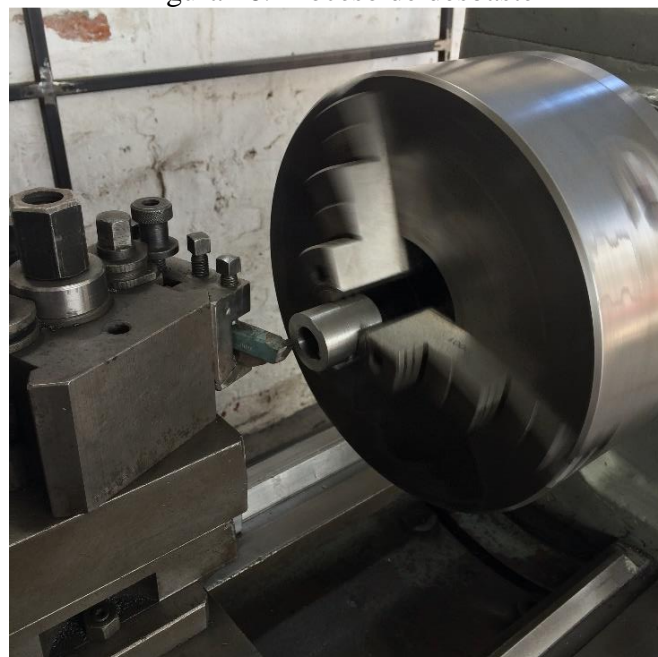


Fuente: Autores

- *Desbastado*

Se procede a realizar el mecanizado el cual brindó a la pieza las dimensiones requeridas

Figura 46. Proceso de desbaste



Fuente: Autores

- *Conicidad*

La conicidad se realiza en los extremos para reducir las aristas vivas de manera que evite accidentes.

- *Taladrado interno*

A lo largo del eje de transmisión se realiza un agujero interno y que sirve como superficie de contacto con el eje de salida del motor, el eje de salida del motor posee un seguro tipo chaveta rectangular el cual permite transmitir el movimiento evitando el libre deslizamiento por lo cual se realiza un chavetero en la pieza que se está mecanizando.

Figura 47. Taladrado interno y chavetero



Fuente: Autores

- *Perforaciones para prisioneros*

Al colocar la chaveta solo se asegura la transmisión del movimiento, pero no se bloquea el movimiento axial del eje de transmisión, por eso se realiza un taladrado con su respectivo roscado para introducir un prisionero

Figura 48. Taladrado y roscado para el prisionero



Fuente: Autores

- *Roscado*

En los orificios realizados para los prisioneros se realiza un roscado interno para asegurar el bloqueo con el eje de salida del motor.

- *Pulido*

Al final de todo proceso de mecanizado resulta estético realizar el pulido ya que elimina todo tipo de imperfección dejado por la cuchilla.

4.5.6 *Construcción del ducto*

- *Obtención del perfil principal*

La construcción de los ductos se la realiza utilizando un molde previo en cual se lo reviste con fibra de vidrio y para sus acabados se utiliza masilla automotriz

Figura 49. Construcción del ducto



Fuente: Autores

- *Estructura para el ducto*

El ducto debe estar sujeto a una estructura que permita su fijación al motor.

La estructura consiste en dos tubos situados verticalmente y una platina con los orificios para el eje de transmisión, y pernos de sujeción.

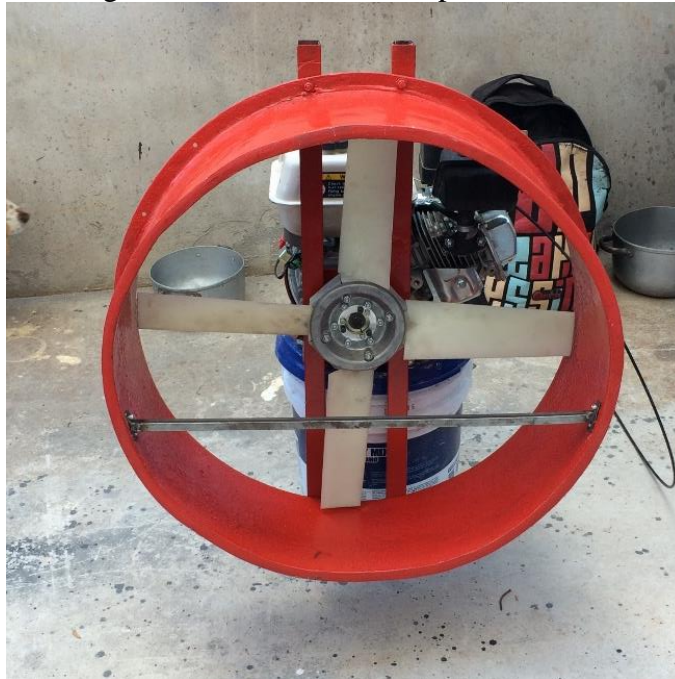
Figura 50. Estructura del ducto



Fuente: Autores

Para realizar la unión del faldón al ducto es necesario colocar un tubo dispuesto transversalmente.

Figura 51. Tubo transversal para el faldón



Fuente: Autores

- *Perforaciones con taladro para paso de tornillos, pernos, etc.*

Como ya se comentó anteriormente se debe realizar orificios para la colocación de pernos, tornillos, remaches etc. que permiten el ensamble de los elementos.

4.5.7 Construcción de la falda

- *Corte del material*

Este proceso es muy importante ya que de estos cortes depende el tamaño y la forma del faldón, es preciso considerar los cortes necesarios para obtener los extremos de las entradas de aire para situarlos en el ducto.

Figura 52. Corte del material del faldón



Fuente: Autores

- *Cocido de la falda*

Luego de sus respectivos cortes se realiza el cocido del material obteniendo la forma y dimensiones requeridas.

Figura 53. Cocido del faldón



Fuente: Autores

4.5.8 *Ubicación del asiento*

- *Elaboración de la base del asiento*

Luego de haber construido el armazón principal se procede a ubicar dos tubos estructurales cuadrados de forma transversal que permita fijar el asiento a la estructura.

Figura 54. Tubos transversales para la base del asiento



Fuente: Autores

- *Perforaciones con taladro para paso de tornillos, pernos, etc.*

Para la ubicación del asiento en la base se debe realizar unas perforaciones la cual permita asegurar mediante pernos, para este proceso se debe tener en cuenta la distribución del peso asegurando de esta manera el equilibrio del vehículo.

Figura 55. Perforación para paso de tornillos del asiento



Fuente: Autores

4.5.9 Construcción de la dirección

- *Perforación para colocar el cable de aceleración.*

Debido a que la dirección se manipula variando las velocidades de los motores simultáneamente, se realiza unas perforaciones en la palanca de aceleración de los motores para colocar los cables de acero.

Figura 56. Ubicación de los cables de aceleración



Fuente: Autores

- *Elaboración de la palanca*

Se procede a construir la base la cual consiste en una caja en cuyo interior se coloca la palanca de aceleración, para el funcionamiento de este mecanismo se usa un terminal de dirección ya que resulta cómodo conseguirlo y cumple con la función a la que se designe.

Para variar las velocidades de los motores simultáneamente se debe hacer una forma geométrica especial en una placa que sirve de guía para el recorrido de la palanca, recorrido que garantiza la aceleración y desaceleración simultáneamente de los motores.

Figura 57. Mecanismo de aceleración



Fuente: Autores

- *Pulido*

Previo a la pintura se realiza el esmerilado y pulido de la caja de la palanca garantizando el acabado liso en sus superficies.

4.5.10 Construcción de los flotadores

- *Cortado y sellado*

En este proceso se realizan los cortes a medida para posteriormente realizar el sellado asegurando su hermeticidad.

Figura 58. Sellado de las fundas



Fuente: Autores

- *Ubicación de válvulas*

Se introduce en uno de sus extremos unas válvulas que permita llenarlos de aire logrando la flotabilidad.

Figura 59. Válvulas de flotadores



Fuente: Autores

- *Colocación de broches*

Figura 60. Broches del flotador



Fuente: Autores

4.5.11 *Proceso de pintura*

- *Preparación de superficies*

El primer paso o fase del proceso de pintura es la preparación de superficies la cual se define como el conjunto de operaciones que tienen por objeto la eliminación de cualquier contaminante que pudiera encontrarse en la superficie a pintar, los cuales favorezcan la adherencia de las futuras capas de pintura.

Figura 61. Lijado de superficies



Fuente: Autores

- *Aplicación de la pintura*

Una vez hemos preparado la superficie el siguiente paso es la aplicación de la pintura, dicha fase comienza con la operación del mezclado de los componentes que conforma la pintura y su posterior aplicación

Figura 62. Pintado del ducto



Fuente: Autores

Figura 63. Pintado de la estructura



Fuente: Autores

Figura 64. Construcción final del aerodeslizador



Fuente: Autores

CAPITULO V

5. COSTOS DEL PROTOTIPO

5.1 Costos de fabricación

Los costos para la construcción del aerodeslizador están basados en dos parámetros fundamentales, estos son:

- *Costos directos*
- *Costos indirectos*

5.1.1 *Costos directos:* Los costos directos son todos los gastos que se requieran para adquirir los materiales necesarios para la construcción del aerodeslizador, mano de obra, equipos o maquinaria, transporte, entre otros.

5.1.1.1 *Costos de materiales de construcción.*

Tabla 8. Costo de materiales

Cantidad	Descripción	Valor Unitario(\$)	Valor Total(\$)
28	Perno mm 8 x 1,25	0,2632	7,36
12	Tuerca mariposa	0,1755	2,11
16	Tuerca acero	0,0526	0,84
8	Perno mm 6 x 1,00	0,1755	1,40
28	Arandelas de presión	0,0351	0,98
3	Arandela plana galvanizada	0,0440	0,13
3	Tornillos	0,0409	0,12
6	Tubos cuadrados 1 ¼" x 1,1 mm	6,03	36,18
1	Tubo redondo 1 ¼" x 1,1 mm	5,50	5,50

½	Plancha de tol de acero	11,80	5,90
2	Motor de combustión de interna 6,5 HP	190	380
1	Faldón	600	600
1(lb)	Electrodos	4,80	4,80
4	Bisagras	0,50	2,00
2	Hélice	200	400
4	Flotadores	10	40

Fuente: Autores

El costo total de materiales es de 1488 dólares.

5.1.1.2 *Costos de mano de obra calificada*

Estos se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 9. Costos de mano de obra

Descripción	Salario/Hora (\$)	Horas Trabajadas	Subtotal (\$)
Torneado	3,50	8	28
Soldadura	3,50	40	140
Doblado de tubos	3,50	4	14

Fuente: Autores

El costo total de mano de obra es de 182 dólares.

5.1.1.3 *Costos de equipos y herramientas*

Tabla 10. Costos de herramientas

Cantidad	Descripción	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
1	Flexómetro	8	8
1	Sierra	10	10
6	Disco para corte	2,00	12,00
2	Brocas	1,50	3,00

Fuente: Autores

El costo total de herramientas es de 33 dólares.

Tabla 11. Costos de equipos por hora

Descripción	Hora	Costo/Hora (\$)	Subtotal(\$)
Doblado de tubos	4	8	32
Torno	8	4	32

Fuente: Autores

El costo total de equipos es de 64 dólares.

5.1.1.4 *Costos de transportes de materiales:* El costo de transporte es de 30 dólares ya que la compra de los materiales se dio en diferentes lugares.

- *Total de costos directos*

Tabla 12. Total de costos directos

Designación	Subtotal
Costos de materiales	1488
Costos de mano de obra calificada	182
Costos de herramientas	33
Costos de equipos	64
Costos de transportes de materiales	30
Total	1797

Fuente: Autores

5.1.2 Costos indirectos

Tabla 13. Costos indirectos

Descripción	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
Linkografía	20	20
Impresión de documentos	30	30
Supervisión	50	50
Transporte	20	20
Alimentación	100	100

Fuente: Autores

Total de costos indirectos es de 220 dólares.

5.2 Costos totales:

El costo total es la suma de los costos directos y costos indirectos.

Tabla 14. Costos totales

Designación	Subtotal
Costos directos	1797
Costos indirecto	220
Total	2017

Fuente: Autores

El costo total para la elaboración del aerodeslizador es de 2017 dólares.

CAPITULO VI

6. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

6.1 Prueba de encendido de los motores

Antes de iniciar esta prueba se debe utilizar EPP (Equipo de Protección Personal), como guantes, gafas y mandil, para preservar la integridad de los operarios.

Luego se debe comprobar:

- *Nivel de aceite*
- *Nivel de combustible*
- *Revisar filtro de aire*
- *Revisar la bujía de encendido*

La prueba de encendido es realizada para constatar el encendido correcto de los motores, dando como resultado un óptimo funcionamiento de los mismos.

Figura 65. Encendido del motor



Fuente: Autores

6.2 Prueba de sustentación

Se realizó la prueba de sustentación, constatando la elevación del aerodeslizador en 0,5 m. como se ve en la siguiente figura.

Figura 66. Prueba de sustentación del aerodeslizador



Fuente: Autores

6.3 Prueba de desplazamiento

Se realizó las pruebas de desplazamiento verificando que el prototipo se desplaza de manera correcta a una velocidad aproximada de 24Km/h en una superficie regular.

Figura 67. Desplazamiento del aerodeslizador



Fuente: Autores

CAPITULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

Se realizó una revisión bibliográfica de los diferentes tipos de aerodeslizadores, su aplicación en el campo automotriz, y la teoría de colchón de aire.

Se diseñó y simuló un prototipo de aerodeslizador en un software CAD/CAM, para visualizar y determinar las cargas que soporta el prototipo así como también su funcionalidad.

Se seleccionó los componentes óptimos resultado del diseño como el motor, hélice, estructura, faldón, entre otros; elementos que son imprescindibles para el funcionamiento de este prototipo.

Se construyó el prototipo empleando técnicas ingenieriles las cuales permitieron optimizar el tiempo y costos de construcción dando como resultado: sustentación máxima 0,5m, velocidad lineal máxima de 24 Km/h, autonomía de 2 horas con el tanque de combustible en su máximo nivel.

Se realizó pruebas de funcionamiento del prototipo validando los cálculos realizados en las simulaciones.

7.2 RECOMENDACIONES

Verificar que los parámetros de diseño y los resultados de las simulaciones sean los correctos antes de adquirir los componentes, puesto que una selección incorrecta implicaría un gasto inútil.

Utilizar todas las normas e implementos de seguridad para la construcción del prototipo.

Utilizar chaleco salvavidas y protección para los oídos al momento de abordar el aerodeslizador.

Verificar que las dimensiones de los componentes del aerodeslizador sean las adecuadas para evitar contratiempos en el ensamblaje del vehículo.

Incentivar la investigación de este tipo de proyectos por parte de la Escuela de Ingeniería Automotriz mediante las gestiones pertinentes para poder contar con bibliografía necesaria.

BIBLIOGRAFÍA

AIRBOARD PTY, LTD. *Owner's operating and maintenance manual*. [En línea] [Consulta: 23 Junio 2016.]. Disponible en: http://www.arbortech.com.au/upload/pages/airboard-support/owners-manual-sept07_v5.pdf

BAAH-SACKEY, Philip. *On wings like a penguin*. [En línea] [Consulta: 28 Junio 2016.]. Disponible en: https://www.calvin.edu/academic/engineering/senior-design/SeniorDesign07-08/Team01/downloads/Team1_PPFS.pdf

CARRILLO VILCHIS, Omar Arturo; et al. Diseño y construcción de un vehículo de colchón de aire. [En línea] (Tesis). Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México. 2006. pp. 34-70. [Consulta: 2016-04-23]. Disponible en: https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiikcbLxd_NAhXGJR4KHeOPCGUQFggjMAE&url=http%3A%2F%2Ftesis.ipn.mx%2Fbitstream%2Fhandle%2F123456789%2F13367%2F1341%25202006.pdf%3Fsequence%3D1&usg=AFQjCNGalpf-InokqU.

ESPINOZA SÉMPER, Rafael Francisco. Diseño y construcción de un vehículo anfíbio para 20 pasajeros soportado en colchón de aire para el Golfo de Nicoya - Costa Rica. [En línea] (Tesis). Escuela Superior del Litoral, Guayaquil, Ecuador. 2008. pp. 30-56. [Consulta: 2016-05-27]. Disponible en: https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi_grHOlcTOAhXKHx4KHSLIBW0QFggiMAE&url=https%3A%2F%2Fwww.dspace.espol.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F7978%2F1%2FD-39563.pdf&usg=AFQjCNHHTgaQ3T4Qq-3-soCJXkCbgvBd6.

GARCÍA RAMÍREZ, Angie, & TARAZONA CARO, Saúl. Rediseño de ingeniería de una hélice de paso variable para un Aerodeslizador Ruso. [En línea] (Trabajo de grado). Universidad de San Buenaaventura, Bogotá, Colombia. 2006. pp. 45-60. [Consulta: 2016-05-08]. Disponible en: <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/36633.pdf>.

HERNÁNDEZ PÉREZ, Misael, & SALVADOR BAUTISTA, Ricardo. Modelado de un hovercraft ligero. [En línea] (Reporte final de investigación). Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México. 2006. pp. 10-78. [Consulta: 2016-04-23]. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/11928/1/1333-2006.pdf>.

MAY NOVA, Juan Carlos. Diseño teórico y construcción de un ventilador axial para un aerodeslizador. [En línea] (Informe de memoria de título). Universidad de Concepción, Concepción, Chile. 2003. pp. 20-56. [Consulta: 2016-05-20]. Disponible en: <http://www.jcmay.webege.com/PMT.pdf>.

PRAGYAN. *Basic Hovercraft Theory*. [En línea]. [Consulta: 25 Mayo 2016.].

Disponible en:

https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiAk7LhqMTOAhUFZCYKHaMaAYkQFggrMAU&url=https%3A%2F%2Fwww.pragyan.org%2F16%2Fhome%2Fevents%2Fcore_engineering%2Fhoverone%2Fresources%2FTheory%2520of%2520Hovercraft..

RODRÍGUEZ MALUENDA, María Eugenia. Diseño de un aerodeslizador con sistema integrado de propulsión y sustentación. [En línea] (Proyecto de grado). Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Venezuela. 2007. pp. 05-45. [Consulta: 2016-03-15]. Disponible en: <http://159.90.80.55/tesis/000134892.pdf>.

SASSARINI BUSTAMANTE, Patricio Alonso. Diseño aerodinámico de un aerodeslizador ligero con capacidad para dos pasajeros. [En línea] (Tesis). Pontificia Universidad Católica Del Perú, Lima, Perú. 2009. pp. 20-85. [Consulta: 2016-03-03]. Disponible en: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/581>